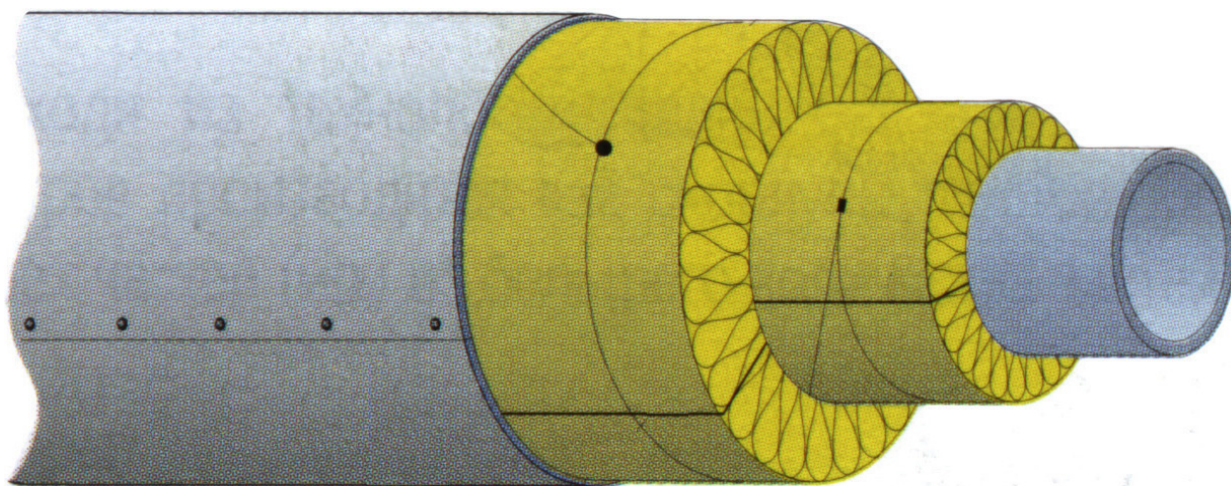


І. О. Мікульонок

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВODІВ



І. О. Мікульонок

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВОДІВ

*Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів,
які навчаються за спеціальністю
«Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»*

Київ
НТУУ «КПІ»
2013

УДК 66.045.3:624.04]:621.643](075.8)
ББК 35.11-02я73+39.7я43
М59

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(Лист № 1/11-11065 від 08.07.2013 р.)*

Рецензенти:

О. С. Парфенюк, д-р техн. наук, проф.,
Донецький національний технічний університет

О. М. Гавва, д-р техн. наук, проф.,
Національний університет харчових технологій

Відповідальний редактор

Є. М. Понов, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Мікульонок І. О.

М59 Проектування теплової ізоляції обладнання і трубопроводів :
підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / І. О. Мікульонок. – 2-ге вид., випр..
і допов. – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – 188 с.: іл. – Бібліогр.: с. 185. –
500 прим.
ISBN 978-966-622-592-7

Викладено основні відомості про теплоізоляційні матеріали, вироби й конструкції, їх властивості й характеристики, умови їх застосування, монтаж, експлуатацію й ремонт теплоізоляційних конструкцій, техніку безпеки під час теплоізолювальних робіт. Розглянуто методики та приклади розрахунку товщини теплоізоляційного шару конструкцій, основні вимоги до робочої документації теплової ізоляції обладнання та трубопроводів.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів», а також споріднених спеціальностей: будівельної галузі, теплоенергетики, нафтопереробної, харчової, мікробіологічної та фармацевтичної галузей промисловості.

УДК 66.045.3:624.04]:621.643](075.8)
ББК 35.11-02я73+39.7я43

ISBN 978-966-622-592-7

© І. О. Мікульонок, 1999
© І. О. Мікульонок, 2013, зі змінами
© НТУУ «КПІ» (ІХФ), 2013

ВСТУП

Світовий досвід засвідчує, що економія паливно-енергетичних ресурсів є стратегічним завданням будь-якої держави, а одним з найбільш ефективних шляхів його вирішення є скорочення втрат теплової енергії крізь огорожувальні конструкції будівель і споруд, промислового обладнання і трубопроводів.

Переважна більшість процесів хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної, харчової, теплоенергетичної та інших галузей промисловості відбувається за температур, відмінних від температури навколишнього середовища. Таким чином, підвищення енергоефективності зазначених галузей промисловості (і особливо хімічної як однієї з найбільш енергоємних) є одним з пріоритетних завдань розробників та експлуатаційників технологічного й допоміжного обладнання і трубопроводів.

У цих умовах істотно зростає роль теплової ізоляції обладнання і трубопроводів як чинника, що сприяє економії енергії, забезпечує потрібний режим в ізольованих системах і допустимі санітарно-гігієнічні умови праці у виробничих приміщеннях. Проте тепла ізоляція може повністю відповідати своєму призначенню лише за умови її правильного вибору й розрахунку.

Теплоізолюванню піддають змонтоване й випробуване обладнання, тому під час проектування теплової ізоляції використовуються знання, отримані студентами після вивчення навчальних дисциплін «Процеси та обладнання хімічної технології», «Розрахунок і конструювання машин та апаратів хімічних виробництв», а також «Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв».

У підручнику наводяться основні відомості щодо вибору теплоізоляційних конструкцій ізольованих об'єктів, методики та приклади розрахунків, які найчастіше зустрічаються в практиці проектування обладнання та трубопроводів хімічних виробництв з температурою речовин, що містяться в них, від мінус 180 до 600 °С. Наведений у підручнику матеріал відповідає чинній нормативно-технічній і довідковій документації.

Підручник підготовлено на основі лекцій, які автор читає протягом майже двадцяти років студентам кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, а також кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Усі зауваження і пропозиції щодо поліпшення змісту підручника будуть сприйняті автором із вдячністю.

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ, ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ

Основні терміни і визначення

Азбест – узагальнена назва тонковолокнистих мінералів класу силікатів, які здатні розщеплюватися на гнучкі й тонкі волокна (затовшки до 0,5 мкм). Різновиди азбесту – хризотил-азбести та амфібол-азбести. На основі азбесту виробляються папір, картон і шнури.

Азбозурит – порошкоподібна пухка маса, що являє собою суміш трепелу (осадова порода, що складається в основному з аморфного кремнезему) з азбестом.

Азбоцемент – суміш азбесту й портландцементу.

Базальт – гірська порода, що складається з темнокольорових мінералів (піроксену, олівіну), основного плагіоклазу (зазвичай лабрадору) і вулканічного скла. Сировина кам'яно-ливарного виробництва, у результаті якого одержують базальтове волокно з наступним переробленням у базальтові вату, тканини, мати, плити, папір, картон тощо.

Вата мінеральна – волокнистий матеріал, який одержують із розплаву гірських порід, промислових силікатних відходів або їх сумішей.

Вата мінеральна гранульована – сипкий матеріал у вигляді гранул, який одержують грануляцією мінеральної вати

Вата скляна – пухка маса з коротких відрізків склониток з хаотичним розташуванням волокон.

Вермикуліт спучений – це сипкий зернистий матеріал лускатої будови, який одержують випалюванням природних гідратованих слюд.

Вироби бітумоперлітні – теплоізоляційні вироби, одержані змішуванням і формуванням спученого перлітового піску й нагрітого бітуму.

Вироби вапняково-кремнеземисті – вироби, які виготовляють з вапняку, кремнеземистого матеріалу та азбесту приготуванням з цих матеріалів тонкодисперсної маси, формування її автоклавної обробки, сушіння й механічного оброблення.

Вироби вулканітові – вироби, які одержують з діатоміту (осадова порода, що складається в основному з аморфного кремнію) вапняку та азбесту формуванням тонкодисперсної маси автоклавного оброблення й сушіння. Виготовляють зазвичай у вигляді плит і півциліндрів.

Вироби перлітоцементні – вироби, які одержують формуванням, твердненням і сушінням маси із спученого перлітового піску, азбесту й цементу.

Вироби перлітоцементні на керамічному зв'язуючому – вироби, які одержують формуванням, сушінням і випалюванням суміші спученого перліту й

глинистого зв'язуючого.

Гігроскопічність – властивість матеріалу вбирати воду з повітря, що оцінюється кількістю увібраної матеріалом води з повітря до загальної маси матеріалу.

Густина теплоізоляційного матеріалу (кг/м^3) – величина, що визначається відношенням маси матеріалу до всього займаного ним об'єму, включаючи пори й порожнини.

Деформації температурні – теплове розширення або стиск заізольованої поверхні та елементів конструкції під впливом зміни температурних умов під час монтажу та експлуатації ізольованого об'єкта.

Діатоміт – пухка або слабо зцементована кремениста осадова гірська порода, що складається переважно з панцирів діатомових водоростей.

Ізол (ізоляційний матеріал) – гідроізоляційний і покривний матеріал, який одержують з гумобітумного в'язучого та азбесту.

Картон теплоізоляційний із штапельного мінерального волокна – виріб, який виготовляється із супер- та ультратонкого штапельного мінерального волокна й застосовується для теплоізоляції.

Коефіцієнт теплопровідності ($\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$) – кількість теплоти, переданої за одиницю часу крізь одиницю площі ізотермічної поверхні за температурного градієнта, що дорівнює одиниці.

Коефіцієнт ущільнення – відношення об'ємів матеріалу до і після поводження з ним (транспортування, монтажу), яке відображає здатність його ущільнення під час поводження з ним (транспортування, монтажу).

Конструкція теплоізоляційна – конструкція, що складається з одного або декількох шарів теплоізоляційного матеріалу (виробу), захисно-покровного шару та елементів кріплення. До складу теплоізоляційної конструкції можуть входити пароізоляційний, запобіжний і вирівнювальний шари.

Конструкція теплоізоляційна багат шарова – конструкція, що складається із двох і більш шарів різних теплоізоляційних матеріалів.

Мати мінераловатні – гнучкі рулонні або у вигляді плоских полотнищ вироби, що складаються з хаотично розміщених волокон мінеральної вати.

Мати мінераловатні вертикально-шаруваті – теплоізоляційні вироби, які складаються зі смуг, нарізаних з мінераловатних плит і наклеєних на захисно-покровний матеріал у положенні, за якого шари мінеральної вати розташовані перпендикулярно до захисно-покровного матеріалу.

Мати мінераловатні гофрованої структури – вироби, які складаються з декількох склеєних між собою плоских і гофрованих шарів, що чергуються, покриті з одного або двох боків покривним матеріалом та прошиті нитками.

Мати мінераловатні прошивні – гнучкі або у вигляді плоских полотнищ вироби, що складаються з шару мінеральної вати, волокна якої скріплені прошивкою нитками.

Мати мінераловатні прошивні з покривним матеріалом – гнучкі рулонні або у вигляді плоских полотнищ теплоізоляційні вироби, що складаються з шару мінеральної вати, покритого з одного або двох боків спеціальним матеріалом та прошитого нитками, шпагатом або дротом.

Набрякання – властивість матеріалу збільшувати об'єм унаслідок вбирання води, що виражається у частках одиниці або відсотках від початкового об'єму.

Паропроникність (мг/(м·год·Па)) – здатність матеріалу пропускати водяну пару, що міститься в повітрі, під дією різниці її парціальних тисків на протилежних поверхнях шару матеріалу.

Пергамін – покривний і гідроізоляційний матеріал, який одержують просочуванням покрівельного картону легкоплавкими нафтовими бітумами.

Перліт спучений – це пористий матеріал у вигляді піску або щебеню, які одержують під час термічного оброблення дроблених водовмісних вулканічних стекл.

Півциліндри (шкаралупи) мінераловатні – вироби у вигляді півциліндрів, просочені синтетичним сполучником.

Пінопласти – газонаповнені полімери, які мають замкнуто-коміркову структуру (замкнуто-коміркова структура – це структура газонаповненого полімеру, у якій газові включення (вкраплення) ізольовані стінками полімеру від газової фази сусідніх комірок).

Пінопластмаси (полімери газонаповнені) – полімерні матеріали, які містять у структурі полімеру дисперговані газові включення (вкраплення). Одержання пінопластмас ґрунтується на введенні в полімер чи смоли твердих або рідких речовин, які виділяють гази рід час нагрівання або хімічної взаємодії (ці гази спучують масу, утворюючи тверду піну з комірками).

Пісок перлітовий – заповнювач у бетонах і розчинах, які застосовують для виготовлення теплоізоляційних виробів і вогнезахисних штукатурок (а перлітовий щебінь – як заповнювач у бетонах).

Плити мінераловатні – щільні мінераловатні вироби у вигляді рівномірного шару хаотично розташованих мінеральних волокон, просочених зв'язуючим.

Плити мінераловатні гофрованої структури – вироби, які складаються з декількох склеєних між собою плоских і гофрованих шарів мінеральної вати, що чергуються.

Плити мінераловатні на синтетичному зв'язуючому – вироби, виготовлені з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому з гідрофобізатором або без нього.

Плити мінераловатні підвищеної жорсткості – вироби з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому з модифікувальними добавками, виготовлені методом прокату.

Плити теплоізоляційні жорсткі – щільні вироби, виготовлені із суміші супертонкого штапельного мінерального волокна, мінеральної вати й легких наповнювачів або без них, на бентонітовому сполучнику.

Плити теплоізоляційні м'які – вироби, виготовлені із супертонкого штапельного мінерального волокна й бентонітового сполучника з добавками або без них.

Полотно із штапельного мінерального волокна – виріб з розпушеного волокна, одержаний в результаті роздуву мінеральної сировини.

Пористість – ступінь насиченості матеріалу повітряними включеннями у вигляді пор.

Пористість відкрита – відносний об'єм пор, які сполучаються із зовнішнім середовищем.

Пористість закрита – відносний об'єм пор, які не сполучаються із зовнішнім середовищем.

Пористість істинна – відношення сумарного об'єму всіх пор (відкритих і закритих) до загального об'єму матеріалу.

Пористість уявна – відношення об'єму пор, які займає вода, що поглинута матеріалом, до його об'єму.

Поропласти – газонаповнені полімери, які мають відкрито-коміркову структуру (відкрито-коміркова структура – це структура газонаповненого полімеру, у якій комірки взаємопов'язані, а газові включення (вкраплення) не дискретні).

Ровінг із мінеральних ниток – джгут ниток, які складаються з неперервних мінеральних волокон.

Руберойд – рулонний покрівельний і гідроізоляційний матеріал, який виготовляють просочуванням покрівельного картону м'якими нафтовими бітумами з наступним покриттям його з обох боків тугоплавким нафтовим бітумом і посипкою (крупнозернистою, лускоподібною та ін., наприклад, піском).

Скловолокно штапельне – продукт поперечного поділу на відрізки заданої довжини склонитки або джгута.

Скломата – скловолокнистий матеріал у формі листа з орієнтованих чи хаотично розміщених ниток, ровінгів, і (або) їх відрізків, з'єднаних силами зчеплення або сполучником.

Склоплита – виріб, виготовлений пресуванням одного або декількох шарів неперервного або штапельного скловолокна, з'єданого сполучником.

Склострічка вузька – матеріал із текстильного скловолокна завширшки не більше як 100 мм з пругом.

Склострічка широка – матеріал із текстильного скловолокна завширшки від 100 до 300 мм з пругом.

Склотканина – текстильний матеріал, виготовлений на ткацькій машині переплетенням поздовжніх (основних) і поперечних (утокових) склониток.

Смуги довгомірні теплоізоляційні – рулонний прошивний матеріал із супер- та ультратонкого штапельного мінерального волокна.

Температуростійкість – здатність матеріалу зберігати механічні властивості під час підвищення або зниження температури. Характеризується граничними температурами застосування, за яких у матеріалі виявляються непружні деформації (рід час підвищення температури) або руйнування структури (під час зниження температури) під дією стискального навантаження.

Теплопровідність розрахункова – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу в експлуатаційних умовах з урахуванням його температури, вологості, монтажного ущільнення й наявності швів у теплоізоляційній конструкції.

Толь – покрівельний і гідроізоляційний матеріал, який одержують просочуванням покрівельного картону дьогтьовими продуктами. Толь менш довговічніший, ніж бітумні матеріали (пергамін, руберойд).

Усадка – зменшення лінійних розмірів та об'єму виробу під час формування структури матеріалу.

Ущільнення теплоізоляційних матеріалів – монтажна характеристика, що визначає щільність теплоізоляційного матеріалу після його установки в проектне положення в конструкції. Ущільнення матеріалів характеризується коефіцієнтом ущільнення, значення якого визначається відношенням об'єму матеріалу або виробу до його об'єму в конструкції.

Фольгоізол – покрівельний і гідроізоляційний рулонний матеріал, який являє собою рифлену алюмінієву фольгу (завтовшки 0,1–0,2 мм), укриту з одного боку шаром гумобітумної або полімерної маси.

Циліндри мінераловатні – вироби у вигляді циліндрів, просочені синтетичним сполучником.

Чохол теплоізоляційний – м'який виріб у формі чохла з супертонкого або мікрокристалічного штапельного мінерального волокна, обличкований з обох боків кремнеземною або скляною тканиною.

Шар вирівнювальний – елемент теплоізоляційної конструкції, який виконують із пружних рулонних або листових матеріалів і розміщують під м'яким покривним шаром (наприклад, з лакосклотканини) для вирівнювання форми поверхні.

Шар запобіжний – елемент теплоізоляційної конструкції, що входить зазвичай до складу теплоізоляційної конструкції для обладнання і трубопроводів з температурою поверхні нижче температури навколишнього середовища з метою захисту пароізоляційного шару від механічних пошкоджень.

Шар пароізоляційний – елемент теплоізоляційної конструкції обладнання і трубопроводів з температурою нижче температури навколишнього середовища, який захищає теплоізоляційний шар від проникнення в нього пари води внаслідок різниці парціальних тисків пари біля холодної поверхні та в навколишньому середовищі.

Шар покривний – елемент конструкції, установлюваний по зовнішній поверхні теплової ізоляції для захисту від механічних ушкоджень і впливу навколишнього середовища.

Шнур з мінеральної вати – виріб, який представляє собою сітчасту трубку, наповнену мінеральною ватою або мінеральним волокном, а також відходами виробництва цих матеріалів.

Шнур склотрикотажний – склотрикотажне полотно циліндричної або овальної форми завширшки не більше 20 мм.

Шнур теплоізоляційний із штапельного мінерального волокна – гнучкий виріб, який складається із серцевини штапельних мінеральних волокон, обплетеної зовні ровінгом неперервних мінеральних волокон, скловолокон і бавовняних волокон.

Основні позначення

A – тепловіддавальна поверхня заізолюваного об'єкта, м^2 ;

B – відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару до зовнішнього діаметра циліндричного заізолюваного об'єкта;

c_i – масова теплоємність теплоізоляційного шару, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

c_m – масова теплоємність матеріалу стінки ізолюваного об'єкта, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

d – зовнішній діаметр циліндричного ізолюваного об'єкта (обладнання, трубопроводу), м ;

d_1 – зовнішній діаметр першого шару теплоізоляційної конструкції циліндричного заізолюваного об'єкта (обладнання, трубопроводу), м ;

d_n – зовнішній діаметр n -го шару теплоізоляційної конструкції циліндричного заізолюваного об'єкта (обладнання, трубопроводу), м ;

d_{int} – внутрішній діаметр стінки циліндричного ізолюваного об'єкта (обладнання, трубопроводу), м ;

D_ϕ – зовнішній діаметр фланця, м ;

$D_{i\phi}$ – діаметр ізоляції фланця, м ;

G_w – масова витрата речовини, $\text{кг}/\text{год}$;

K – коефіцієнт зволоження теплоізоляційного шару;

K_1 – коефіцієнт, який враховує район будівництва й місце встановлення обладнання (спосіб прокладки трубопроводу);

K_c – коефіцієнт ущільнення теплоізоляційного шару;

K_{red} – коефіцієнт, який враховує додатковий потік теплоти крізь опори;

l – довжина тепловіддавального об'єкта (трубопроводу), м ;

m – коефіцієнт, який визначає допустиму кількість конденсату в транспортваній парі;

q – нормована поверхнева густина теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

q_l – нормована лінійна густина теплового потоку з одного метра довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції, $\text{Вт}/\text{м}$;

Q – тепловий потік крізь теплоізоляційну конструкцію заізовованого об’єкта, Вт;
 r_m – термічний опір одного метра довжини неметалевої стінки заізовованого циліндричного об’єкта, м·К/Вт;
 r_p – питома теплота конденсації пари, кДж/кг;
 r_{tot} – опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції заізовованого циліндричного об’єкта, м·К/Вт;
 r_w – питома кількість теплоти замерзання (твердіння) рідкої речовини, кДж/кг;
 R_k – термічний опір теплоізоляційної конструкції, м²·К/Вт;
 R_m – термічний опір неметалевої стінки ізовованого об’єкта, м²·К/Вт;
 R_{tot} – опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції, м²·К/Вт;
 t_e – температура оточуючого середовища, °С;
 t_i – температура поверхні ізоляції, °С;
 t_{int} – температура внутрішньої поверхні ізовованого об’єкта, °С;
 t_w – температура речовини в ізовованому об’єкті, °С;
 t_{w1} – початкова температура речовини в заізовованому об’єкті, °С;
 t_{w2} – кінцева температура речовини в заізовованому об’єкті, °С;
 t_{wm} – середня температура речовини в заізовованому об’єкті, °С;
 t_{wz} – температура замерзання (твердіння) речовини, °С;
 V – об’єм теплоізоляційного матеріалу або виробу до ущільнення, м³;
 V_i – об’єм теплоізоляційного матеріалу або виробу з урахуванням ущільнення, м³;
 V_{ia} – об’єм ізоляції на циліндричній частині (корпусі) апарата, м³;
 V'_{ia} – об’єм ізоляції на одному метрі довжини циліндричної частини апарата, м³;
 V_{id} – об’єм ізоляції на днищі апарата, м³;
 V_m – об’єм стінки ємкості (посудини, апарата), м³;
 V'_m – приведений об’єм матеріалу трубопроводу до одного метра його довжини, м³/м;
 V'_w – приведений об’єм речовини до одного метра довжини трубопроводу, м³/м;
 Z – заданий час зберігання речовини в заізовованому об’єкті або заданий час припинення руху рідкої речовини, год;
 α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища, Вт/(м²·К);
 α_{int} – коефіцієнт тепловіддачі від речовини до внутрішньої поверхні ізовованого об’єкта, Вт/(м²·К);
 δ – розрахункова товщина теплоізоляційного шару з урахуванням ущільнення, м;
 δ_1 – товщина теплоізоляційного виробу до встановлення на ізововану циліндричну поверхню (без ущільнення), м;
 δ_2 – товщина теплоізоляційного виробу до встановлення на ізововану плоску поверхню (без ущільнення), м;
 δ_k – товщина теплоізоляційного шару, м;
 δ_m – товщина неметалевої стінки об’єкта, м;

ρ_m – густина матеріалу стінки ізолюваного об'єкта, кг/м³;
 λ – коефіцієнт теплопровідності сухого матеріалу основного шару, Вт/(м·К);
 λ_k – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару, Вт/(м·К);
 λ_m – коефіцієнт теплопровідності неметалевого матеріалу стінки об'єкта, Вт/(м·К);

Основні індекси:

1 – стосується початкового значення;
2 – стосується кінцевого значення;
e – стосується оточуючого середовища;
i – стосується зовнішньої поверхні ізоляційної конструкції;
int – стосується внутрішньої поверхні ізолюваного об'єкта;
k – стосується матеріалу ізоляційного шару;
m – стосується матеріалу стінки ізолюваного об'єкта;
tot – стосується теплопередачі теплоізоляційної конструкції;
w – стосується середовища всередині ізолюваного об'єкта;
wm – стосується середнього значення середовища всередині ізолюваного об'єкта;
z – стосується замерзання (твердіння) середовища всередині ізолюваного об'єкта;
д – стосується днища ізолюваного об'єкта;
еф – стосується ефективного значення;
к – стосується корпусу ізолюваного об'єкта;
кр – стосується критичного значення;
пк – стосується плоскої кришки ізолюваного об'єкта;
рк – стосується розподільної камери ізолюваного об'єкта.

Основні скорочення

DN – діаметр номінальний (обов'язково з числом);
ГОСТ – міждержавний стандарт;
ДСТУ – державний стандарт України;
ОСТ – галузевий стандарт СРСР, термін чинності якого не закінчився і вимоги якого не суперечать чинному законодавству України;
РСТ УССР – республіканський стандарт України часів її перебування у складі СРСР, термін чинності якого не закінчився і вимоги якого не суперечать чинному законодавству України;
СНиП – будівельні норми і правила СРСР, термін чинності яких не закінчився і вимоги яких не суперечать чинному законодавству України;
ТУ – технічні умови.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

1.1. Загальні відомості

Теплова ізоляція технологічного й типового обладнання хімічних виробництв, конструкцій а також технологічних трубопроводів, паропроводів тощо призначена для зниження інтенсивності теплообміну між робочим та оточуючим середовищами, а також між окремими конструктивними елементами.

Матеріальним втіленням теплового ізолювання будь-якого об'єкта за допомогою теплоізоляційних матеріалів і виробів є теплоізоляційна конструкція або теплоізоляція.

1.2. Класифікація теплоізоляційних матеріалів і виробів

Теплоізоляційні матеріали і вироби поділяють за такими основними ознаками (ГОСТ 16381–77):

- 1) за видом основної вихідної сировини:
 - неорганічні;
 - органічні*;
- 2) за структурою:
 - волокнисті (з мінерального, скляного, базальтового волокна);
 - комірчасті (пінополістирол, піноскло, ніздрюватий бетон, пінопласти та ін.);
 - зернисті або сипкі (наприклад, вермикуліт, пісок перлітовий спучений та ін.);
- 3) за формою:
 - пухкі (вата, перліт та ін.);
 - плоскі (плити, мати, повсть та ін.);
 - фасонні (циліндри, півциліндри, сегменти та ін.);
 - шнурові**;
- 4) за займистістю (горючістю):
 - неспаленні;
 - важкоспаленні;
 - спаленні***;

* Вироби виготовлені із суміші органічної та неорганічної речовини, відносять до неорганічних, якщо вміст останніх у суміші перевищує 50 % за масою.

** Також за формою розрізняють поштучні (плити, блоки, циліндри, півциліндри, сегменти), рулонні й шнурові (мати, шнури, джгути), пухкі й сипкі (вата, перлітовий пісок та ін.).

*** Відповідно до СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» розрізняють такі матеріали й вироби: негорючі (НГ), слабогорючі (Г1), помірногорючі (Г2), нормальногорючі (Г3) і сильногорючі (Г4).

5) за вмістом зв'язуючого:

- на такі, що містять зв'язуюче;
- на такі, що не містять зв'язуючого.

Іноді теплоізоляційні матеріали і вироби поділяють за також за такими ознаками:

6) жорсткістю:

– м'які (М) – стисливість понад 30 % за питомого навантаження 0,002 МПа (мінеральна й скляна вата, вата з каолінового й базальтового волокна, вата із супертонкого скловолокна, мати і плити зі штапельного скловолокна);

– напівжорсткі (П) – стисливість від 6 до 30 % за питомого навантаження 0,002 МПа (плити мінераловатні й зі штапельного скловолокна на синтетичному зв'язуючому);

– жорсткі (Ж) – стисливість до 6 % за питомого навантаження 0,002 МПа (плити з мінеральної вати на синтетичному або бітумному зв'язуючому);

– підвищеної жорсткості (ПЖ) – стисливість до 10 % за питомого навантаження 0,04 МПа (плити мінераловатні підвищеної жорсткості на синтетичному зв'язуючому);

– тверді (Т) – стисливість до 10 % за питомого навантаження 0,1 МПа;

7) теплопровідністю:

– клас А – низької теплопровідності – коефіцієнт теплопровідності за середньої температури 298 К (25 °С) до 0,06 Вт/(м·К);

– клас Б – середньої теплопровідності – коефіцієнт теплопровідності за середньої температури 298 К від 0,06 до 0,115 Вт/(м·К);

– клас В – підвищеної теплопровідності – коефіцієнт теплопровідності за середньої температури 298 К від 0,115 до 0,175 Вт/(м·К).

1.3. Загальні технічні вимоги до теплоізоляційних матеріалів і виробів

Теплоізоляційні матеріали й вироби мають виготовлятися відповідно до вимог стандартів або технічних умов на ці матеріали, а також ГОСТ 16381–77.

Матеріали й вироби мають задовольняти таким загальним технічним вимогам:

– мати коефіцієнт теплопровідності не більше за 0,175 Вт/(м·К) за температури 25 °С;

– мати густину (об'ємну масу) не більше за 500 кг/м³;

– мати стабільні фізико-механічні й теплотехнічні властивості;

– не виділяти токсичних речовин і пилу в кількостях, що перевищують гранично допустимої концентрації.

Марку матеріалів і виробів установлюють за густиною.

Граничну температуру застосування матеріалів і виробів установлюють у стандартах або технічних умовах на конкретні види матеріалів і виробів з обов'язковою вказівкою групи горючості.

Коефіцієнт теплопровідності матеріалів і виробів, залежно від граничної температури застосування, указують у стандартах або технічних умовах на

конкретні види матеріалів і виробів за температури 25 °С для матеріалів і виробів, застосовуваних за температури до 200 °С; 125 °С для матеріалів і виробів, застосовуваних за температури до 500 °С; 300 °С для матеріалів і виробів, застосовуваних за температури понад 500 °С.

1.4. Найменування та класифікаційні ознаки теплоізоляційних матеріалів і виробів

Найменування та класифікаційні ознаки основних теплоізоляційних матеріалів і виробів згідно з цією класифікацією наведено в табл. 1.1.

З метою вибору оптимального варіанта проекрованої теплоізоляційної конструкції розглядаються такі показники якості теплоізоляційних матеріалів (ГОСТ 4.201–79):

1) критерій технічного рівня (містить *показники призначення*: граничну температуру застосування, вологість, водовбирання, теплопровідність, границю міцності під час згинання, стисливість, стисливість у повітряно-вологодому середовищі, пружність, границю міцності під час стискання за 10 %-ї деформації, займистість (горючість), границю міцності під час розтягу, границю міцності під час стискання, сорбційну вологість, лінійну температурну усадку, гнучкість, морозотривкість, водостійкість, хімічну стійкість, середній діаметр волокна, вміст неволокнистих включень («корольків»), модуль кислотності, зерновий склад, набухання по товщині у водному середовищі, термічну стійкість, хімічний склад; *показники конструктивності*: номінальні розміри виробу й відхилення від них, густину (об'ємну масу), правильність геометричної форми, дефекти зовнішнього вигляду, різновтовщинність, однорідність структури, вміст органічних речовин, повноту поліконденсації; *показник збережуваності* – гарантію постачальника; *показники технологічності*: питому трудомісткість виготовлення, питому матеріалоємність, ступінь механізації та автоматизації виготовлення; *показники транспортабельності*: масу, габаритні розміри, можливість контейнеризації та (або) пакування, матеріалоємність і трудомісткість пакування, тривалість підготовки до транспортування; *ергономічні показники*: рівень токсичності матеріалів і виробів, пилення матеріалів і виробів);

2) критерій стабільності показників якості (містить *середні квадратичні відхилення* густини, теплопровідності, границі міцності під час згинання, границі міцності під час стискання за 10 %-ї деформації, границі міцності під час стискання, вмісту органічних речовин, вологості, середнього діаметра волокна, вмісту неволокнистих включень («корольків»));

3) критерій показників економічної ефективності (містить собівартість, рентабельність, питомі капітальні вкладання у виробництво, річний економічний ефект);

4) конкурентоспроможність на зовнішньому ринку (містить *патентно-правові показники*: показник патентної чистоти, показник патентного захисту, наявність експорту).

При цьому для окремих видів теплоізоляційних матеріалів за відповідного обґрунтування додатково можуть застосовуватися інші показники якості.

Таблиця 1.1. Найменування та класифікаційні ознаки основних теплоізоляційних матеріалів і виробів (ГОСТ 16381–77)

Найменування матеріалів і виробів	Класифікаційні ознаки													
	Вид вихідної сировини		Структура			Уміст зв'язуючого		Форма				Займистість (горючість)		
	неорганічна	органічна	волокниста	ніздрювата	зерниста	є	нема	пухкі	плоскі	фасонні	шнурові	неспаленні	важкоспаленні	спаленні
Вата мінеральна	+		+				+	+				+		
Вата скляна	+		+				+	+				+		
Вата керамічна (каолінова)	+		+				+	+				+		
Мати	+		+			+	+		+			+		
Шнури	+		+				+				+			
Повсть	+		+			+			+			+	+	
Мати вертикально-шаруваті	+		+			+			+				+	
Повсть вертикально-шарувата	+		+			+			+				+	
Плити	+		+			+			+			+	+	+
Плити вертикально-шаруваті	+		+			+			+				+	
Циліндри й півциліндри	+		+			+				+			+	
Плити мінеральноватні армовані	+		+			+			+				+	
Спучений перліт	+				+		+	+				+		
Вироби перлітобітумні	+			+		+			+	+			+	
Вироби перлітокерамічні	+			+					+	+		+		
Вироби перлітоцементні	+			+					+	+		+		
Вироби перлітогіпсові	+			+					+	+		+		
Вироби пінополістирольні		+		+					+					+
Вироби пінополіуретанові		+		+					+	+				+
Вироби пінофенолоформальдегідні		+		+					+	+			+	
Плити з піноскла	+			+			+		+			+		

2. ВИМОГИ ДО ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, ВИРОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ

2.1. Вимоги до теплоізоляційних матеріалів і виробів

Для теплової ізоляції обладнання, трубопроводів і повітроводів, як правило, потрібно застосовувати повноскладальні або комплектні конструкції заводського виготовлення, а також труби з тепловою ізоляцією повної заводської готовності.

Для трубопроводів теплових мереж, включаючи арматуру, фланцеві з'єднання й компенсатори, теплову ізоляцію потрібно передбачати незалежно від температури теплоносія та способів прокладки.

Для зворотних трубопроводів теплових мереж номінальним діаметром $DN200$ і менше, що прокладають у приміщеннях, тепловий потік від яких використовується для опалення приміщень, а також конденсатопроводів під час скидання конденсату в каналізацію, теплову ізоляцію допускається не передбачати.

Арматуру, фланцеві з'єднання, люки, компенсатори потрібно ізолювати, якщо ізолюється обладнання або трубопровід, на якому вони встановлені.

Теплоізоляційні конструкції слід передбачати з таких елементів: теплоізоляційного шару, армувальних і кріпильних деталей, пароізоляційного шару й покривного шару. Захисний покрив ізольованої поверхні від корозії до складу теплоізоляційної конструкції не входить.

У теплоізоляційній конструкції пароізоляційний шар слід передбачати за температури ізольованої поверхні нижче $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Потреба в улаштуванні пароізоляційного шару за температури від 12 до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ визначається розрахунком.

Для теплоізоляційного шару обладнання та трубопроводів з позитивними температурами речовин, які містяться в них, для всіх способів прокладок, крім безканальної, слід використовувати матеріали й вироби з середньою густиною не більше 400 кг/м^3 і коефіцієнтом теплопровідності не більше $0,07\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$ (за температури $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вологості, вказаній у відповідних стандартах і технічних умовах на матеріали й вироби). Допускається використання азбестових шнурів для ізоляції трубопроводів $DN50$ і менше.

Для ізолювання поверхонь з температурою вищою за $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ як перший шар теплоізоляції допускається застосування виробів з коефіцієнтом теплопровідності більше $0,07\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$.

Для теплоізоляційного шару обладнання та трубопроводів з негативними температурами* слід використовувати теплоізоляційні матеріали й вироби з середньою густиною не більше 200 кг/м^3 і розрахунковою теплопровідністю в конструкції не більше $0,07\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$.

* Під час вибору теплоізоляційних конструкцій поверхні з температурою від 19 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ потрібно відносити до поверхонь з негативними температурами.

Кількість шарів теплоізоляційного матеріалу в теплоізоляційних конструкціях для обладнання та трубопроводів з негативними температурами речовин, які містяться в них, наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Кількість шарів пароізоляційного матеріалу

Пароізоляційний матеріал	Товщина, мм	Кількість шарів пароізоляційного матеріалу за різної температури ізолюваної поверхні й термінах експлуатації теплоізоляційної конструкції					
		від мінус 60 до 19 °С		від мінус 61 до мінус 100 °С		нижче мінус 100 °С	
		8 років	12 років	8 років	12 років	8 років	12 років
Плівка поліетиленова, ГОСТ 10354–82	0,15–0,2	2	2	2	2	3	—
	0,21–0,3	1	2	2	2	2	3
	0,31–0,5	1	1	1	1	2	2
Фольга алюмінієва, ГОСТ 618–73	0,06–0,1	1	2	2	2	2	2
Ізол, ГОСТ 10296–79	2	1	2	2	2	2	2
Руберойд, ГОСТ 10923–93	1	3	—	—	—	—	—
	1,5	2	3	3	—	—	—

Примітки:

1. Допускається заміна плівки поліетиленової на плівку полівінілбутиральну клейку згідно з ГОСТ 9438–85, стрічку полівінілхлоридну липку згідно з ТУ 6-19-103–78, ТУ 102-320–82, плівку поліетиленову термоусадочну згідно з ГОСТ 25951–83 з додержанням товщин, указаних у таблиці.

2. Допускається застосування інших матеріалів, які забезпечують рівень опору паропроникності не нижче, ніж у наведених у таблиці.

Для матеріалів із закритою пористістю, які мають коефіцієнт паропроникності менше 0,1 мг/(м·год·Па), у всіх випадках береться один пароізоляційний шар. Із застосуванням заливального пінополіуретану пароізоляційний шар не встановлюється.

Шви пароізоляційного шару мають бути герметизовані; за температури ізолюваної поверхні нижче мінус 60 °С слід також виконувати герметизацію швів покривного шару герметиками або плівковими матеріалами, які клеються.

У конструкціях не слід застосовувати металеві кріпильні деталі, які проходять крізь всю товщину теплоізоляційного шару. Кріпильні деталі або їх частини слід передбачати з матеріалів з коефіцієнтом теплопровідності не більше 0,23 Вт/(м·К).

Дерев'яні кріпильні деталі мають бути оброблені антисептичною речовиною, а сталеві частини кріпильних деталей – пофарбовані бітумним лаком.

Для теплоізоляційного шару трубопроводів з позитивною температурою за безканальної прокладки слід застосовувати матеріали із середньою густиною не більше 600 кг/м³ і коефіцієнтом теплопровідності не більше 0,13 Вт/(м·К) за температури матеріалу 20 °С і вологості, вказаній у відповідних стандартах або технічних умовах.

Конструкція теплової ізоляції трубопроводів за безканальної прокладки повинна мати міцність під час стискання не менше 0,4 МПа, а саму теплову ізоляцію слід виконувати в заводських умовах.

Розрахункові характеристики теплоізоляційних матеріалів і виробів беруть за таблицями А.1 і А.2.

Теплоізоляційні конструкції слід передбачати з матеріалів, які забезпечують:

- тепловий потік крізь заізольовані поверхні обладнання та трубопроводів згідно із заданим технологічним режимом або нормованою густиною теплового потоку;

- виключення виділення під час експлуатації шкідливих, пожежонебезпечних, вибухонебезпечних і таких, що тхнуть, речовин у кількостях, що перевищують гранично допустимі концентрації;

- виключення виділення під час експлуатації хвороботворних бактерій, вірусів і грибків.

Знімні теплоізоляційні конструкції мають застосовуватися для ізолювання люків, фланцевих з'єднань, арматури, сальникових і сальфонних компенсаторів трубопроводів, а також у місцях вимірювань і перевірки стану заізольованих поверхонь.

Застосування засипної ізоляції трубопроводів у разі підземної прокладки в каналах і безканально не допускається.

Для теплової ізоляції обладнання та трубопроводів, що містять речовини, які є активними окислювачами, не слід застосовувати матеріали самозаймисті й такі, що змінюють фізико-хімічні властивості (у тому числі вибухо- й пожежонебезпечні) у разі контакту з цими речовинами.

Для обладнання та трубопроводів, які піддаються ударним діям і вібрації, не слід застосовувати теплоізоляційні вироби на основі мінеральної вати й засипну теплоізоляційну конструкцію.

Для обладнання та трубопроводів, які встановлюються в цехах для виробництва та в будовах для зберігання харчових продуктів і хімікофармацевтичних товарів, слід застосовувати теплоізоляційні матеріали, які не допускають забруднення оточуючого повітря. Під покривний шар з неметалевих матеріалів у приміщеннях зберігання й перероблення харчових продуктів слід передбачати встановлення сталеві сітки з дроту діаметром не менше 1 мм з комірками розміром не більше 12×12 мм.

Застосування теплоізоляційних виробів з мінеральної вати, базальтового або супертонкого скловолокна допускається тільки в обкладувальному матеріалі (обкладках) з усіх боків із скляної або кремнеземної тканини й під металевим покривним шаром.

Перелік матеріалів, які застосовуються для покривного шару, наведено в табл.А.3.

Іноді як матеріал покривного шару, особливо для обладнання, розташованого в приміщеннях, застосовується штукатурка з азбозуритової мастики, азбестоцементного, азбестогіпсового або піщаноцементного розчину [17]. На відміну від інших матеріалів покривного шару, для яких термічний опір нікчемний і в розрахунках теплової ізоляції не враховується, вплив термічного опору в разі використання покривного штукатурного шару може стати досить помітним, і в деяких випадках під час розрахунків його слід брати до уваги. Товщина штукатурного шару становить 10–20 мм, а його теплопровідність іноді всього в 2–4 рази перевищує теплопровідність основного ізоляційного шару й нехтувати опором штукатурного шару в цьому випадку не можна (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. Характеристики покривного штукатурного шару теплової ізоляції

Склад штукатурного шару	Густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності за температури 50 °С, Вт/(м·К)
Азбозуритовий	800	0,23
Азбозуритоцементний і гіпсовий	900–1000	0,30
Азбоцементний	1700	0,38

Товщина штукатурного шару залежить від матеріалу ізоляційного шару.

Для нанесення на сітку по м'якому ізоляційному матеріалу типу мінеральної або скляної вати товщину штукатурного шару беруть рівною 10 мм для циліндричних об'єктів з діаметром до 100, 15 мм для циліндричних об'єктів з діаметром 100–1000 мм і 20 мм для циліндричних об'єктів з діаметром понад 1000 мм і для плоских поверхонь.

Для нанесення штукатурного шару на інші ізоляційні матеріали об'єктів будь-якої конфігурації його товщину беруть рівною 10 мм.

У Російській Федерації нещодавно прийнято нові вимоги щодо улаштування штукатурних покривних шарів теплоізоляційних конструкцій*.

Так, штукатурний покривний шар теплоізолюваної поверхні, розташованої в приміщенні, має бути обклеєний тканиною. Товщину штукатурного покриву для укладання по твердих або волокнистим матеріалам залежно від діаметра ізолюваного об'єкта рекомендується брати згідно з табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Рекомендована товщина штукатурного шару теплоізоляційної конструкції

Вид ізоляційного матеріалу (основа)	Товщина штукатурного покриву, мм		
	Вид ізолюваного об'єкта		
	Трубопроводи зовнішнім діаметром, мм		Обладнання
	до 133 включно	159 і більше	
Жорсткі вироби	10	15	20
Волокнисті вироби	15	15–20	20–25

* СНиП 41-03-2003 «Система нормативных документов в строительстве. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Для об'єктів, що зазнають вібрації, у разі застосування штукатурних захисних покривів потрібно передбачати обклеювання штукатурного захисного покриву з наступним фарбуванням.

Не допускається застосування металевих покривних шарів у разі підземної прокладки трубопроводів. Покривний шар з рулонної холоднокатаної сталі з полімерним покривом (металопласт) не допускається застосовувати в місцях, які піддаються прямій дії сонячних променів.

Із застосуванням напилюваного пінополіуретану для трубопроводів, які прокладаються в каналах, допускається покривний шар не передбачати.

Теплоізоляційні конструкції з горючих матеріалів не допускається передбачати для обладнання та трубопроводів, розташованих:

1) у будівлях, крім будівель IVa і V ступенів вогнестійкості, а також охолоджуваних приміщень холодильників;

2) у зовнішніх (надвірних) технологічних установках, крім обладнання, що стоїть окремо;

3) на естакадах і галереях за наявності кабелів і трубопроводів, які транспортують горючі речовини.

При цьому допускається застосування з горючих матеріалів:

1) пароізоляційного шару завтовшки не більше 2 мм;

2) шару лакофарбового матеріалу або плівки завтовшки не більше 0,4 мм;

3) покривного шару трубопроводів, які розташовані в технічних підвальних поверхнях і підпідлоговому просторі з виходом назовні в будівлях I і II ступенів вогнестійкості в разі виконання вставок завдовжки 3 м з негорючих матеріалів не менше, ніж через 30 м довжини трубопроводу;

4) теплоізоляційного шару із заливального пінополіуретану в разі покривного шару з оцинкованої сталі для апаратів і трубопроводів, які містять горючі речовини з температурою мінус 40 °С і нижче в зовнішніх технологічних установках.

Покривний шар з важкогорючих матеріалів, який застосовується для зовнішніх технологічних установок висотою 6 м і більше, має бути на основі скловолокна.

Для трубопроводів надземної прокладки із застосуванням теплоізоляційних конструкцій з горючих матеріалів слід передбачати вставки довжиною 3 м з негорючих матеріалів не менше, ніж через 100 м довжини трубопроводу, ділянки теплоізоляційних конструкцій з негорючих матеріалів на відстані не менше 5 м від технологічних установок, які містять горючі гази й рідини.

У разі проходу трубопроводу крізь протипожежну перешкоду потрібно передбачати теплоізоляційні конструкції з негорючих матеріалів у межах розміру протипожежної перешкоди.

2.2. Вимоги до теплоізоляційних конструкцій

Розрахункову товщину індустриальних теплоізоляційних конструкцій з волокнистих матеріалів і виробів потрібно округляти до значень, кратних 20, і брати згідно з табл. 2.4, а для жорстких, коміркових матеріалів і пінопластів слід брати найближчу до розрахункової товщини виробів за відповідними стандартами або технічними умовами.

Таблиця 2.4. Товщини індустриальних (повноскладальних і комплектних) теплоізоляційних конструкцій

Товщина основного шару, мм			
розрахункова згідно з умовою 1 п.5.2	виконавча	розрахункова згідно з умовами 2–9 п.5.2	виконавча
40–45	40	до 40	40
46–65	60	41–60	60
66–85	80	61–80	80
86–105	100	81–100	100
106–125	120	101–120	120
126–150	140	121–140	140
151–175	160	141–160	160
176–200	180	161–180	180

Мінімальну товщину теплоізоляційного шару з матеріалів, які не ущільнюються, слід брати:

- у разі ізолювання тканинами, полотном полотнопрошивним, шнурами – 30 мм;
- у разі ізолювання жорсткоформованими виробами – рівній мінімальній товщині, яка передбачається стандартами або технічними умовами;
- у разі ізолювання виробами з волокнистих матеріалів, які ущільнюються – 40 мм.

Значення граничної товщини теплоізоляційної конструкції в разі підземної прокладки в каналах і тунелях наведено в табл. 2.5.

Товщину та об'єм теплоізоляційних виробів з матеріалів, які ущільнюються, до встановлення на ізолювану поверхню слід визначати згідно з п. 5.1.

Для поверхонь з температурою вище 250 °С і нижче мінус 60 °С не допускається застосування одношарової конструкції. У багатошаровій конструкції наступні шари мають перекривати шви попереднього шару. Для ізолювання жорсткоформованими виробами слід передбачати вставки з волокнистих матеріалів у місцях улаштування температурних швів.

Товщину металевих листів, стрічок, які застосовуються для покривного шару, залежно від зовнішнього діаметра або конфігурації теплоізоляційної конструкції, слід брати за табл. 2.6.

Таблиця 2.5. Граничні товщини теплоізоляційних конструкцій за умови підземної прокладки в тунелях і непрохідних каналах

Номінальний діаметр	Спосіб прокладки трубопроводів				
	у тунелі			у непрохідному каналі	
	Гранична товщина теплоізоляційної конструкції, мм, за температури речовини, °С				
	нижче мінус 30	від мінус 30 до 19	від 20 до 600 включно	до 150 включно	151 і більше
15	60	60	60	40	60
25	100	60	80	60	100
40	120	60	80	60	100
50	140	80	100	80	120
65	160	100	140	80	140
80	180	100	160	80	140
100	180	120	160	80	160
125	180	120	160	80	160
150	200	140	160	100	180
200	200	140	180	100	200
250	220	160	180	100	200
300	240	180	200	100	200
350	260	200	200	100	200
400	280	220	220	120	220
450	300	240	220	120	220
500	320	260	220	120	220
600	320	260	240	120	220
700	320	260	240	120	220
800	320	260	240	120	220
900 і більше	320	260	260	120	220

Примітки:

1. Товщина ізоляції для трубопроводів у каналах вказана для позитивних температур транспортованих речовин. Для трубопроводів з негативними температурами транспортованих речовин, які прокладаються в каналах, граничні товщини беруть такими самими, як і для прокладки в тунелі.

2. У випадку, коли за розрахунком товщина ізоляції більше граничної, беруть більш ефективний матеріал.

Таблиця 2.6. Товщина металевих листів і стрічок, які використовуються для покривного шару

Матеріал	Товщина листа, мм, за діаметра ізоляції, мм			
	350 і менше	понад 350 до 600	понад 600 до 1600	понад 1600 і плоскі поверхні
Сталь тонколистова	0,35–0,50	0,5–0,8	0,8	1,0
Листи з алюмінію та алюмінієвих сплавів	0,3	0,5–0,8	0,8	1,0
Стрічки з алюмінію та алюмінієвих сплавів	0,25–0,30	0,3–0,8	0,8	1,0

Примітки:

1) Листи та стрічки з алюмінію та алюмінієвих сплавів завтовшки 0,25–0,30 мм рекомендується застосовувати гофрованими.

2) Для ізолювання поверхонь діаметром ізоляції понад 1600 мм і плоских, які розташовані в приміщенні з неагресивними та слабоагресивними середовищами, допускається застосовувати металеві листи та стрічки завтовшки 0,8 мм, а для трубопроводів діаметром ізоляції більше 600 мм до 1600 мм – 0,5 мм.

Для запобігання покривного шару від корозії слід передбачати:

– для дахової (покрівельної) сталі – фарбування*;

– для листів і стрічок з алюмінію та алюмінієвих сплавів із застосуванням теплоізоляційного шару в сталевій нефарбованій сітці або улаштуванні сталевого каркасу – встановлення під покривний шар прокладки з рулонного матеріалу.

Конструкцію теплової ізоляції слід передбачати такою, що виключає деформацію та сповзання теплоізоляційного шару під час експлуатації.

На вертикальних ділянках обладнання та трубопроводів через кожні 3–4 м по висоті слід передбачати опорні конструкції.

Розміщення кріпильних деталей на ізольованих поверхнях беруть згідно з ГОСТ 17314–81.

Деталі, які передбачаються для кріплення теплоізоляційної конструкції на поверхні з негативними температурами, повинні мати захисний покрив від корозії та виготовлятися з корозієстійких матеріалів.

Кріпильні деталі, які контактують з ізольованою поверхнею, слід передбачати:

– для поверхонь з температурою від мінус 40 до 400 °С – з вуглецевої сталі;

– для поверхонь з температурою понад 400 і нижче мінус 40 °С – з такого самого матеріалу, що й ізольована поверхня.

Кріпильні деталі основного й покривного шарів теплоізоляційних конструкцій обладнання та трубопроводів, які розташовані на відкритому повітрі в районах з розрахунковою температурою оточуючого повітря нижче мінус 40 °С, слід застосовувати з легованої сталі або алюмінію.

Температурні шви в покривних шарах горизонтальних трубопроводів слід передбачати біля компенсаторів, опор і поворотів, а на вертикальних трубопроводах – у місцях встановлення опорних конструкцій.

Вибір матеріалу покривних шарів теплоізоляційних конструкцій обладнання та трубопроводів, розташованих на відкритому повітрі в районах з розрахунковою температурою оточуючого повітря мінус 40 °С і нижче, слід виконувати з урахуванням температурних границь застосування матеріалів за стандартами й технічними умовами.

* Найкращий ефект досягається фарбуванням покривного шару фарбою з додаванням алюмінієвого порошку, який знижує коефіцієнт випромінювання й теплові втрати заізольованого об'єкта.

Для конструкцій теплової ізоляції обладнання та трубопроводів з негативними температурами робочих речовин кріплення покривного шару слід передбачати, як правило, бандажами. Кріплення покривного шару гвинтами допускається передбачати за діаметра ізоляційної конструкції більше 800 мм.

2.3. Теплоізоляційні матеріали нового покоління

Останніми роками багатьма розробниками було запропоновано нові, достатньо перспективні види теплової ізоляції, які можна застосовувати для ізолювання будівельних конструкцій, обладнання та трубопроводів як з негативними, так і з позитивними температурами робочих речовин у них.

Піноскло – матеріал зі структурою піни, одержуваний спіканням тонкоподрібненого скляного порошку й газоутворювача. Залежно від технології виготовлення піноскло містить безліч заізованих один від одного газонаповнених пухирців або сполучених між собою пухирців, пор і повітряних раковин. Розміри пухирців, пор і раковин різних видів піноскла переважно становлять від 0,1 до 10 мм.

Зазвичай піноскло випускають у вигляді плит (блоків) завдовжки 250–610 мм, завширшки 125–600 мм і завтовшки 40–180 мм. Теплопровідність піноскла складає 0,04–0,09 Вт (м·К), густина – 100–160 кг/м³, границя міцності на стиск – 0,35–1,60 МПа, границя міцності на згин – 0,40–0,60 МПа, температура застосування – від мінус 50 до 600 °С.

Залежно від призначення піноскло має кілька різних видів, які відрізняються між собою міцністю на стиск.

Піноскло застосовують для теплоізоляції:

- фундаментів, стін підвалів, підлог, стін, покрівель, покрівель житлових і промислових будівель і споруд;
- технологічного обладнання з криогенним або високотемпературним режимом: хімічних і нафтохімічних виробництв, трубопроводів, промислового обладнання різного призначення, промислових димоходів, стін і підлог, а також промислових холодильників.

Спінений синтетичний каучук і спінений поліетилен – теплоізоляційні матеріали із закритопористою структурою, застосовувані для морозильних і холодильних систем, для вентиляції й кондиціювання, для систем холодного й гарячого водопостачання, каналізації, опалення, хімії, нафтохімії й суднобудування.

Ізоляція зі спіненого синтетичного каучуку з рівномірною дрібнокомірчастою закритопористою структурою характеризується високою теплоізоляційною здатністю, високим коефіцієнтом опору дифузії водяної пари, низькою теплопровідністю (0,036–0,045 Вт (м·К)), застосовується в широкому діапазоні температур теплоносія: від мінус 200 до 175 °С.

Зазначені матеріали мають високу еластичність, що дає змогу здійснювати якісний герметичний монтаж на будь-яких поверхнях. Якість і надійність монтажу під час склеювання стиків ізоляції між собою досягається й за рахунок ефекту холодного зварювання та високої когезії (склеювання на молекулярному рівні). Вироби зі спіненого синтетичного каучуку і поліетилену зберігають геометричні розміри навіть за значного перевищення верхньої границі робочих температур (практично відкрите полум'я протягом кількох секунд). Середній термін служби термоізоляції із спінених синтетичного каучуку й спіненого поліетилену – 25 років.

Відбивна ізоляція – це рулонні або листові матеріали з основою зі спіненого поліетилену або поліетиленової плівки з отриманими в ній формуванням повітряними порожнинами, що поліпшують теплоізоляційні властивості матеріалу, або панелей з екструдованого пінополістиролу, або склосітки, ламіновані алюмінієвою фольгою із захисним покритвом чи металізованою поліпропіленовою плівкою. Ламінування при цьому може бути як одностороннім, так і двостороннім; товщина фольги становить переважно 12–30 мкм.

Згідно із проведеними оцінками тепловий режим споруд, обладнання та трубопроводів часто визначає випромінювання. При цьому відбивна теплоізоляція відбиває (або затримує) до 97 % теплового випромінювання, що складає до 80 % загальних втрат теплоти. Таким чином, у разі нанесення на основу відбивних покриттів з алюмінієвої фольги або металізованої поліпропіленової плівки теплоощадні властивості теплоізоляції істотно збільшуються.

Під час використання відбивної теплоізоляції необхідно, щоб між відбивальною поверхнею ізоляції й поверхнею конструкції був повітряний проміжок величиною 7–25 мм. При цьому в конструкційних порожнинах не повинно виникати інтенсивного конвективного руху повітря. Потрібно зазначити, що термічний опір відбивної ізоляції зменшується з підвищенням середньої температури, тому відбивна ізоляція взимку більш ефективна, ніж влітку. Термічний опір відбивної ізоляції залежно від її конструкції, товщини основи й кількості відбивних шарів становить 0,55–2,60 м²·К/Вт. Теплопровідність відбивної ізоляції складає 0,031–0,032 Вт (м·К), границя міцності на стиск – 0,035 МПа, границя міцності під час розтягу – 0,46–0,55 МПа, температура застосування – від мінус 60 до 200 °С.

Перевагами відбивної теплоізоляції є:

- високі гідро- й пароізоляційні характеристики, екологічні та звукоізоляційні властивості;
- простота монтажу;
- низькі водо- й паровбирання і незалежність теплоізоляційних властивостей від вологості;
- біологічна стійкість (стійкість до впливу гризунів, комах, грибків тощо);
- довговічність.

Супертонкі теплоізоляційні покритви на основі рідкого керамічного композиційного матеріалу.*

Аналог цього матеріалу було розроблено в США наприкінці ХХ століття для захисту орбітальних космічних апаратів від екстремальних термічних перепадів і жорсткого ультрафіолетового випромінювання. Згідно з технічним завданням, покритв повинен був мати високі адгезійні й міцнісні властивості, вирізнятися мінімальним об'ємом і вагою.

Працює цей полімерний покритв як «мультитермос», оскільки основу матеріалу становлять порожнисті склокерамічні кульки мікронного розміру, що розташовуються в певному порядку в композиції із синтетичного каучуку, акрилових полімерів, оксидів металів і неорганічних пігментів. Такий «мікроповітряний кожух» разом із взаємодією між хімічними агентами матеріалу на молекулярному рівні створюють складний лабіринт теплових бар'єрів, що перешкоджають теплообміну заізольованих об'єктів з навколишнім середовищем (рис. 2.1).

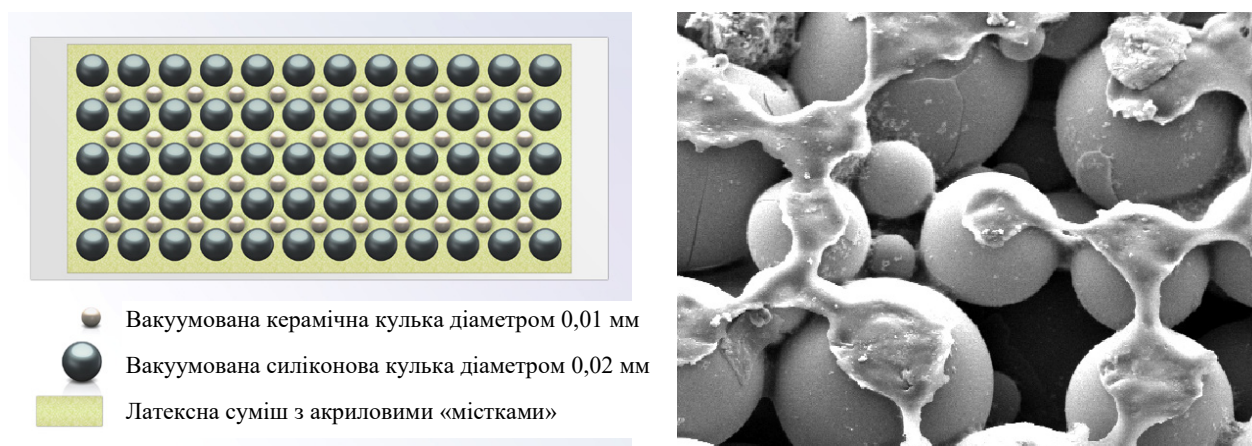


Рис. 2.1. Схема будови та структура теплоізоляційного покритву на основі рідкого керамічного композиційного матеріалу

Розроблений матеріал, який отримав назву Thermal Coat, має унікальну комбінацію властивостей: потужна теплоізоляція, легкість, надміцність (покритв Thermal Coat витримує багаторазову деформацію разом з основою), стійкість до вібрації та ударних навантажень, довговічність і екологічність (нагрітий покритв не виділяє в атмосферу шкідливих для людини сполук). Температура поверхні, що захищається – до 260 °С. При цьому покритви Thermal Coat не підтримують горіння і є високоякісними діелектриками. Термін служби,

* 1. Андрей Самохин. Жидкая шуба с орбиты // Техника – молодёжи. — 2006. — № 5. — С. 10—13.

2. Андрей Самохин. Термос на кончике кисти // Техника – молодёжи. — 2007. — № 7. — С. 26—29.

3. Mascoat – термоізоляція нового покоління в Україні : інформ. брошура. — К. : Santana UA Group LLC, 2006. — 15 с.

який гарантується виробником – 10 років, у той же час дослідження, проведені в Російській Федерації та Україні, довели, що реальний термін служби покривів з матеріалу Thermal Coat – понад чверть століття.

Покрив з матеріалу Thermal Coat завтовшки 0,4 мм за теплоізоляційними характеристиками еквівалентний цегельній кладці завтовшки 280 мм, сосновій дошці – 75 мм, мінеральній плиті – 74 мм, пінополіуретану – 50 мм (рис. 2.2)

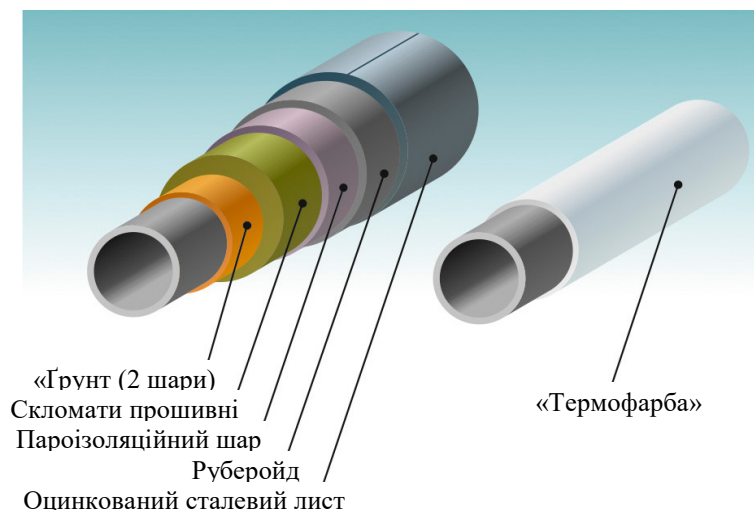


Рис. 2.2. Порівняння традиційної теплоізоляційної конструкції трубопроводу та теплоізоляційного покриття на основі рідкого керамічного композиційного матеріалу

Наносити покриття можна як звичайну фарбу: апаратом безповітряного розпилення або пензлем чи малярським валиком пошарово – від 0,4 до 5 мм залежно від поверхні, яка захищається (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Ємкість і трубопровід з теплоізоляційним покриттям на основі рідкого керамічного композиційного матеріалу

Важливо, що технологічний шар не розривається в місцях розгалуження, складних з'єднань конструкцій, при цьому матеріал заповнює дрібні деталі рельєфу поверхні. При цьому наносити матеріал майбутнього покриття можна безпосередньо на обладнання або трубопровід з температурою поверхні до 170 °С без зупинки технологічного процесу. Додаванням до матеріалу барвного пігменту можна досягти потрібного кольору покриття.

3. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ КОНСТРУКЦІЇ

3.1. Загальні відомості

Теплоізоляційні конструкції складаються з таких елементів:

1) теплоізоляційного шару, який забезпечує нормальну роботу заізованої поверхні згідно з вимогами, які пред'являються до теплової ізоляції цієї поверхні;

2) покривного шару, який захищає теплоізоляційний шар від дії атмосферних опадів і агресивних середовищ, а також від механічних пошкоджень; для захисту покривного шару від зовнішніх чинників його поверхню оклеюють і фарбують або тільки фарбують;

3) пароізоляційного шару, який застосовується на об'єктах з негативними температурами; він запобігає проникненню водяної пари з навколишнього середовища в покривний і теплоізоляційний шари;

4) армувальних і кріпильних деталей, які надають механічній жорсткості теплоізоляційній конструкції в цілому й застосовуються для кріплення теплоізоляційного й покривного шарів конструкції, а також для збільшення міцності теплоізоляційної конструкції в цілому.

Залежно від застосовуваних конструктивних рішень до складу теплоізоляційної конструкції також можуть входити вирівнювальний та/або запобіжний шари^{*}.

Матеріали й вироби теплоізоляційного шару обладнання та трубопроводів наведені в табл. А.1 і А.2, а матеріали для покривного шару – у табл. А.3.

3.2. Теплоізоляційні конструкції трубопроводів з речовинами, які мають позитивну температуру

Застосування різних теплоізоляційних конструкцій обумовлено місцезнаходженням ізолюваних трубопроводів, їх діаметром, температурою речовини та оточуючого середовища, вимогами які пред'являються до ізоляції та ін. При цьому потрібно враховувати такі фактори: для ізолювання трубопроводів, що піддаються вібрації, потрібно застосовувати вироби із скляного штапельного волокна або з жорстких матеріалів; для трубопроводів, які експлуатують-

^{*} Вирівнювальний шар – елемент теплоізоляційної конструкції, який виконують із пружних рулонних або листових матеріалів і розміщують під м'яким покривним шаром (наприклад, з лакосклотканини) для вирівнювання форми поверхні.

Запобіжний шар – елемент теплоізоляційної конструкції, що входить зазвичай до складу теплоізоляційної конструкції для обладнання і трубопроводів з температурою поверхні нижче температури навколишнього середовища з метою захисту пароізоляційного шару від механічних пошкоджень.

ся періодично й розташовані в місцях, де можливе часте зволоження ізоляції, не слід застосовувати вироби з органічних матеріалів або вироби, що мають крохмальну зв'язку, а також діатомітові й совелітові вироби.

Найбільш ефективний вид ізоляції – це готові теплоізоляційні конструкції заводського вироблення, які поділяються на повнозбірні й збірні.

Повнозбірні теплоізоляційні конструкції складаються з теплоізоляційних виробів і покривного шару, з'єднаних між собою кріпильними деталями, а *збірні (комплектні)* – з теплоізоляційних виробів і покривного шару, складених у конструкцію без з'єднання кріпильними виробами.

Теплоізоляційні конструкції з металевим покривним шаром кріплять на трубопроводі за допомогою самонарізних гвинтів із захисним покривом (цинковим або кадмієвим) або бандажів, а теплоізоляційні конструкції з неметалевим покривом – за допомогою бандажів або пластмасових кнопок. Бандажі виготовляють з алюмінію або алюмінієвих сплавів, сталевий пакувальний стрічки (оцинкованої або покритої протикорозійною речовиною).

На рис. 3.1 показано варіант ізолювання трубопроводу повнозбірними теплоізоляційними конструкціями з мінераловатних або скловатних виробів з металевим покривом. Як ізоляційні вироби застосовують циліндри з одним поздовжнім розрізом або півциліндри (іноді їх називають шкаралупами).

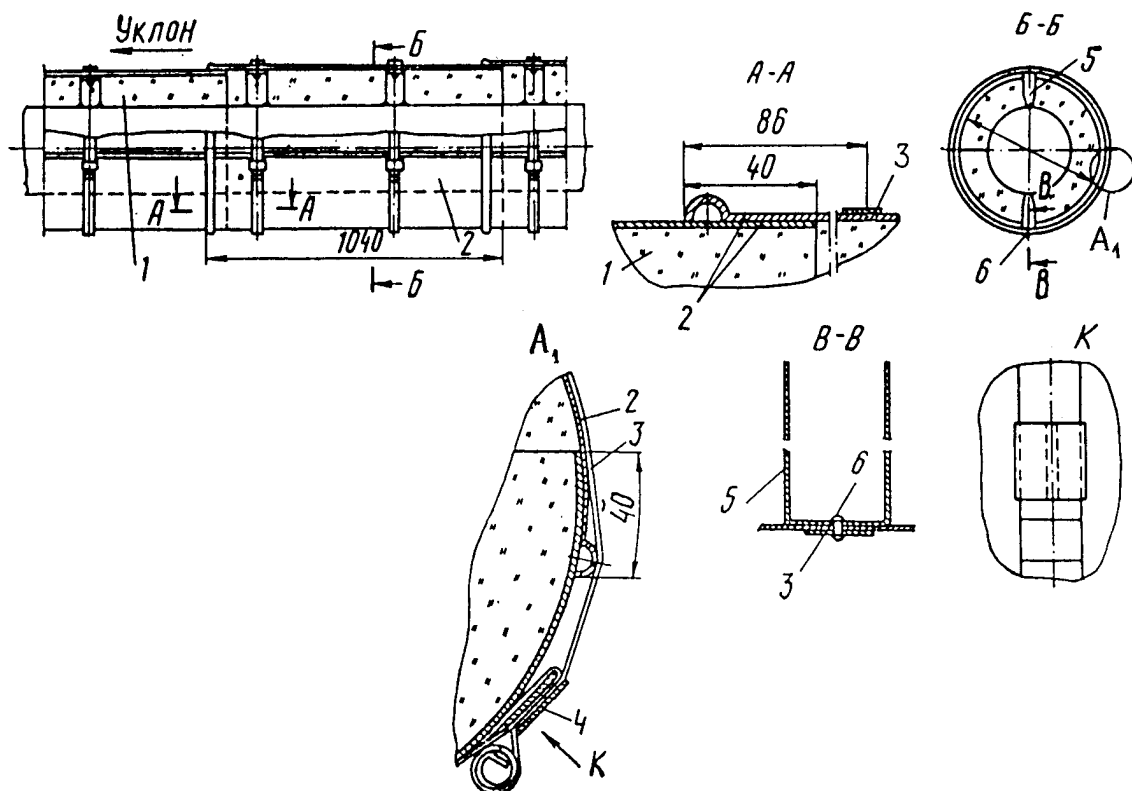


Рис. 3.1. Ізолювання трубопроводів теплоізоляційними мінераловатними циліндрами (півциліндрами) з металевим покривом: 1 – циліндр (півциліндр); 2 – металевий покрив; 3 – бандаж; 4 – пряжка; 5 – скоба; 6 – заклепка

Теплоізоляційні вироби прикріплюють до ізольованого виробу скобами з тонколистового металу або шплінтами з алюмінієвого дроту. Скоби до покривного шару прикріплюють заклепками, а бандажі – заклепками або шплінтами, завчасно стягуючи ключем. У разі закріплення на трубопроводі нижнього півциліндра для запобігання його провисанню передбачена спеціальна підвіска з алюмінієвого або оцинкованого сталевго дроту. За потреби опорядження торців теплоізоляційної конструкції біля фланцевих з'єднань, арматури тощо біля торця встановлюють діафрагму з того самого матеріалу, що й покрив.

На рис. 3.2 показано варіант ізолювання трубопроводу повнозбірними теплоізоляційними конструкціями з мінераловатних або скловатних виробів з неметалевим покривом.

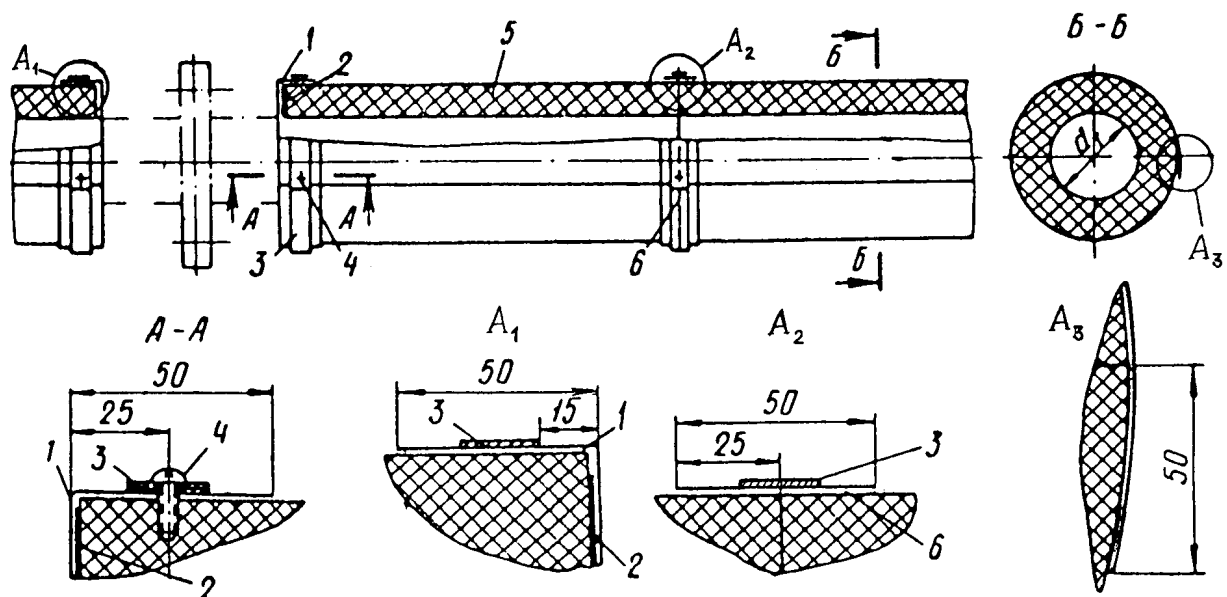


Рис. 3.2. Ізолювання трубопроводу теплоізоляційними мінераловатними циліндрами з покривом з лакосклотканини: 1 – діафрагма з лакосклотканини; 2 – металева діафрагма; 3 – бандаж; 4 – самонарізний гвинт; 5 – теплоізоляційний шар; 6 – стрічка з лакосклотканини

Покривний шар кріплять до теплоізоляційного шплінтами з алюмінієвого дроту або наклеюванням (якщо покривний шар виготовлено з рулонних матеріалів).

На рис. 3.3 показано варіант ізолювання трубопроводу збірними (комплектними) теплоізоляційними конструкціями з мінераловатних виробів на синтетичному зв'язуючому з металевим покривом. У цій конструкції теплоізоляційний шар не прикріплено до покривного шару, а тільки вкладено в нього. Конструкція кріпиться на трубопроводі тільки за поздовжніми швами покривного шару самонарізними гвинтами.

Під час ізолювання трубопроводу півциліндрами й циліндрами з волокнистих матеріалів бандажі встановлюють з розрахунку по два на пару відповідних півциліндрів або через 500 мм по довжині циліндра.

Під час ізолювання трубопроводу півциліндрами з жорстких матеріалів (термостійких пінопластів, совеліту, вулканіту, азбовермикуліту та ін.) півци-

ліндри встановлюють на трубопроводі по тонкому шару мастики (із заповненням швів між півциліндрами цією ж мастикою) зі зміщенням поперечних швів або насухо з кріпленням півциліндрів дротяними кільцями або бандажами (по два бандажі по довжині півциліндра).

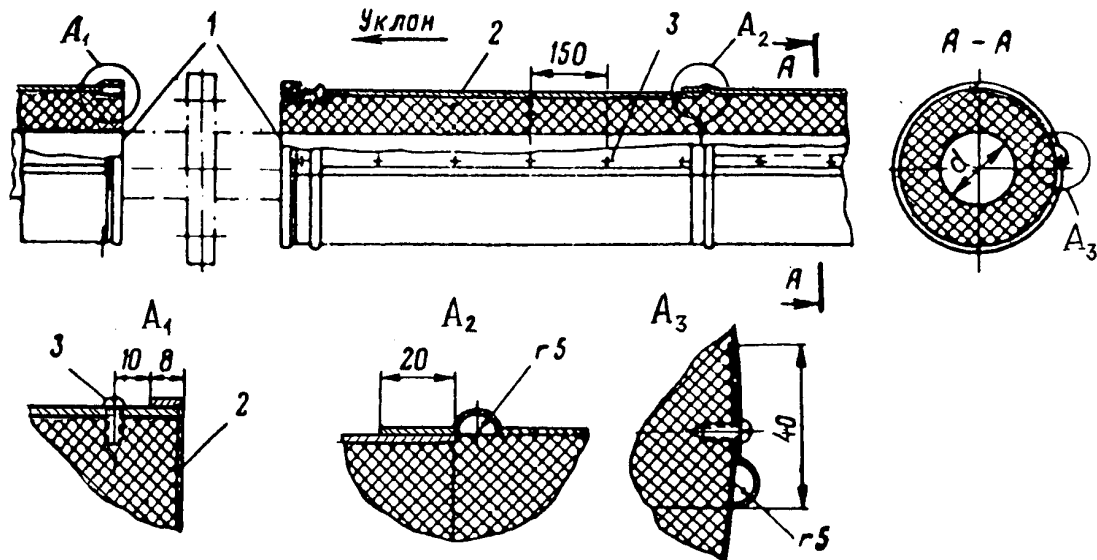


Рис. 3.3. Ізолювання трубопроводу збірними (комплектними) конструкціями:
1 – діафрагма; 2 – збірна теплоізоляційна конструкція; 3 – самонарізний гвинт

Також для ізолювання трубопроводів застосовують сегменти з жорстких матеріалів (вапняно-кремнеземисті, перлітоцементні, діатомітові, пінопластові, та ін.). Сегменти укладають на трубопроводі по шару мастики або насухо зі зміщенням поперечних швів (рис. 3.4). Шви між сегментами заповнюють мастикою, якою покривають трубопровід. Сегменти закріплюють дротяними кільцями (по два кільця на сегмент), а сегменти з пінопласту – бандажами з пакувальної сталі. У багатошаровій ізоляції сегменти укладають зі зміщенням швів відносно до поперечного шару. Зовні утворений теплоізоляційний шар захищають покривним шаром.

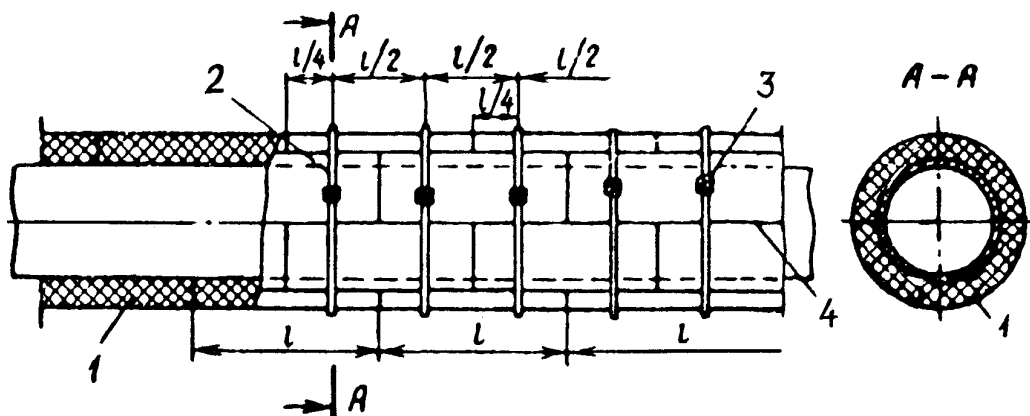


Рис. 3.4. Ізолювання трубопроводів сегментами з жорстких матеріалів:
1 – сегменти; 2 – бандаж; 3 – пряжка; 4 – мастика для заповнення швів

Під час ізолювання трубопроводів прошивними матами з волокнистих матеріалів в обкладках (з металевої сітки, із склотканини, азбестової тканини тощо) мати на трубопроводах укладають в один або два шари (рис. 3.5).

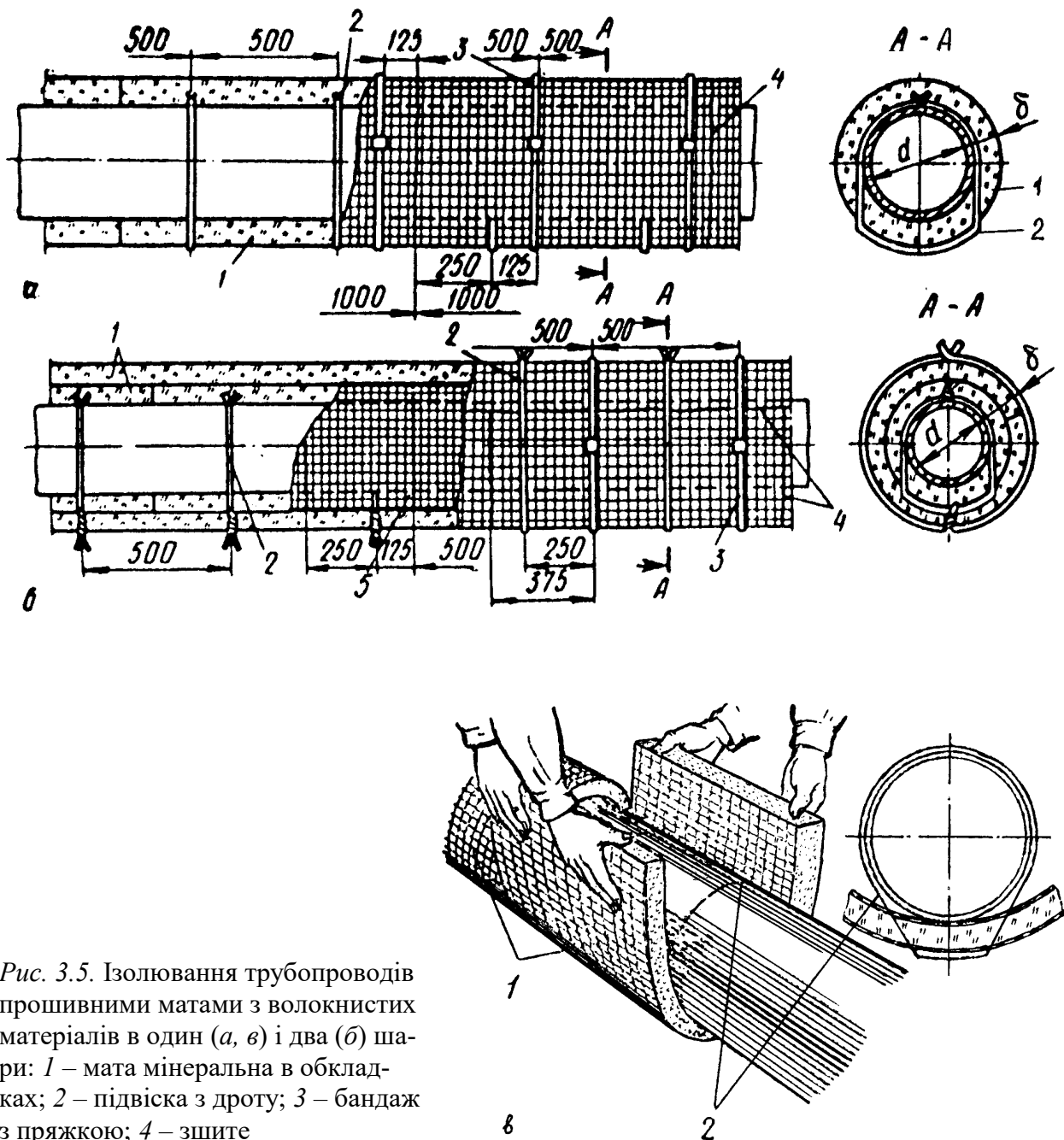


Рис. 3.5. Ізолювання трубопроводів прошивними матами з волокнистих матеріалів в один (а, в) і два (б) шари: 1 – мата мінеральна в обкладках; 2 – підвіска з дроту; 3 – бандаж з пряжкою; 4 – зшите

Мати кріплять у нижній частині трубопроводу підвісками з дроту, які встановлюються через 500 мм по довжині трубопроводу, а по зовнішній поверхні – бандажами з пакувальної стрічки або дротяними кільцями, розташовуючи їх також через 500 мм. Мати по поздовжніх швах додатково зшивають відпаленим сталевим дротом або склониною, а під час ізолювання трубопроводів понад DN600 – і по поперечних швах. По поверхні ізоляції влаштовується

покривний шар. Прошивні мати з волокнистих матеріалів без обкладок установлюються на трубопроводи практично аналогічно.

Під час ізолювання трубопроводів м'якими й напівжорсткими матами й плитами з волокнистих матеріалів на зв'язках теплоізоляційні вироби укладають на трубопровід в один або два шари (рис. 3.6).

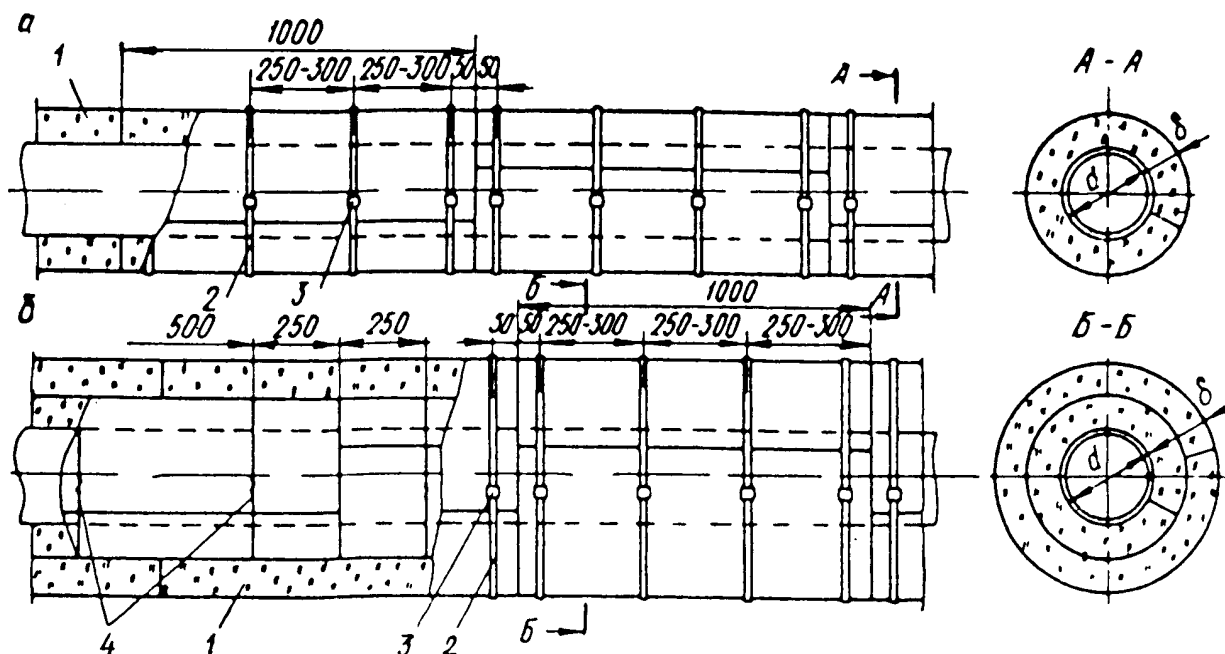


Рис. 3.6. Ізолювання трубопроводів м'якими й напівжорсткими матами й плитами з волокнистих матеріалів на зв'язках в один (а) і два шари (б):
1 – теплоізоляційний шар; 2 – бандаж; 3 – пряжка; 4 – кільця

Для утворення більш міцної конструкції теплоізоляційні вироби укріплюють дротяними підвісками, які завчасно закріплюють на нижній поверхні трубопроводу, а потім пропускають крізь теплоізоляційний шар.

За потреби обігрівання трубопроводу його прокладають спільно з обігрівальними трубопроводами – супутниками, улаштовуючи спільну теплоізоляційну конструкцію, яку підбирають залежно від вимог, які пред'являються до ізоляції: форми обігрівальної повітряної порожнини й потреби повного або часткового обігрівання поверхні трубопроводу (рис. 3.7).

На рис. 3.8 показано ізолювання трубопроводів теплоізоляційними шнурами. Теплоізоляційний виріб закріплюють на трубопроводі на початку й в кінці навивки дротяними кільцями й захищають покривним шаром.

Найбільш трудомісткою й неіндустріальною теплоізоляційною конструкцією є *мастикові ізоляції*. Як виняток її використовують для ізолювання високотемпературних трубопроводів, які піддаються вібрації, а також трубопроводів із значною кількістю вигинів і фігурних днищ технологічного обладнання.

Мастикова ізоляція складається з азбестового набризку завтовшки 5 мм, шару мастикової ізоляції, товщина якого визначається розрахунком, каркаса з металевої сітки з комірками розміром 12×12 мм.

Набивна ізоляція застосовується в основному для ізолювання криволінійних ділянок трубопроводів, а також для ізолювання опор. Як теплоізоляційний матеріал у цьому випадку використовується мінеральна вата або скловата, вермикуліт, а також теплоізоляційні порошки – азбозуритовий, перлітовий і совелітовий. Цей матеріал набивають під металеву сітку з комірками розміром 12×12 мм, якщо покривний шар виконано у вигляді штукатурного шару або рулонних матеріалів, або під металевий кожух, який одночасно є і покривним шаром. Для фіксації сітки або кожуха на трубопроводі улаштовуються опорні кільця, виконані з елементів півциліндрів, сегментів, жорстких плит тощо.

Якщо арматуру й фланцеві з'єднання трубопроводів потрібно часто оглядати, то теплоізоляційні конструкції улаштовують знімними. Незнімну ізоляцію застосовують зазвичай для муфтової арматури й фланцевих з'єднань менше $DN50$.

Знімні конструкції виконуються у вигляді металевих футлярів, заповнених теплоізоляційними матеріалами (рис. 3.9), або у вигляді мат з покривним шаром (рис. 3.10, 3.11).

Якщо арматуру й фланцеві з'єднання не ізолюють, опорядження торців ізоляції трубопроводів виконують згідно з рис. 3.12.

Для ізолювання відводів трубопроводів застосовують гнучкі вироби (шнури, джгути, склострічки, мати) або мінеральну та скляну вату в набивку (рис. 3.13). Під час ізолювання відводів у штукатурному покриві передбачають температурний шов. У разі виконання покривного шару з листового металу кожух для ізолювання відводів складають з окремих ланок, які по внутрішній твірній скріплюють самонарізними гвинтами (при цьому ланки з'єднують зигами). Біля кінців відводів за діаметра ізоляції понад 350 мм улаштовують опорні кільця.

Ізолювання сальникових компенсаторів здійснюють знімними металевими півфутлярами, заповненими теплоізоляційним матеріалом (звичайною мінеральною або скляною ватою). Півфутляри встановлюють на спеціальні опори (манжети), які закріплені на трубопроводі й мають діаметр більший, ніж діаметр сальникового компенсатора. Один кінець півфутлярів закріплено на опорі, а другий може вільно переміщатися за теплового розширення трубопроводу (рис. 3.14). Майже аналогічно ізолюють фланцеві з'єднання (рис. 3.15, 3.16).

Ізоляційні конструкції вертикальних ділянок трубопроводів зазвичай такі самі, як і горизонтальних; різні тільки способи кріплення ізоляції. На вертикальних ділянках трубопроводів передбачають опорні кільця або полиці (приварні або стяжні), які сприймають навантаження від ізоляції, а на трубопроводах $DN800$ і більше, які ізолюються обгортковими виробами, улаштовують внутрішній каркас, що запобігає їх сповзанню (рис. 3.17).

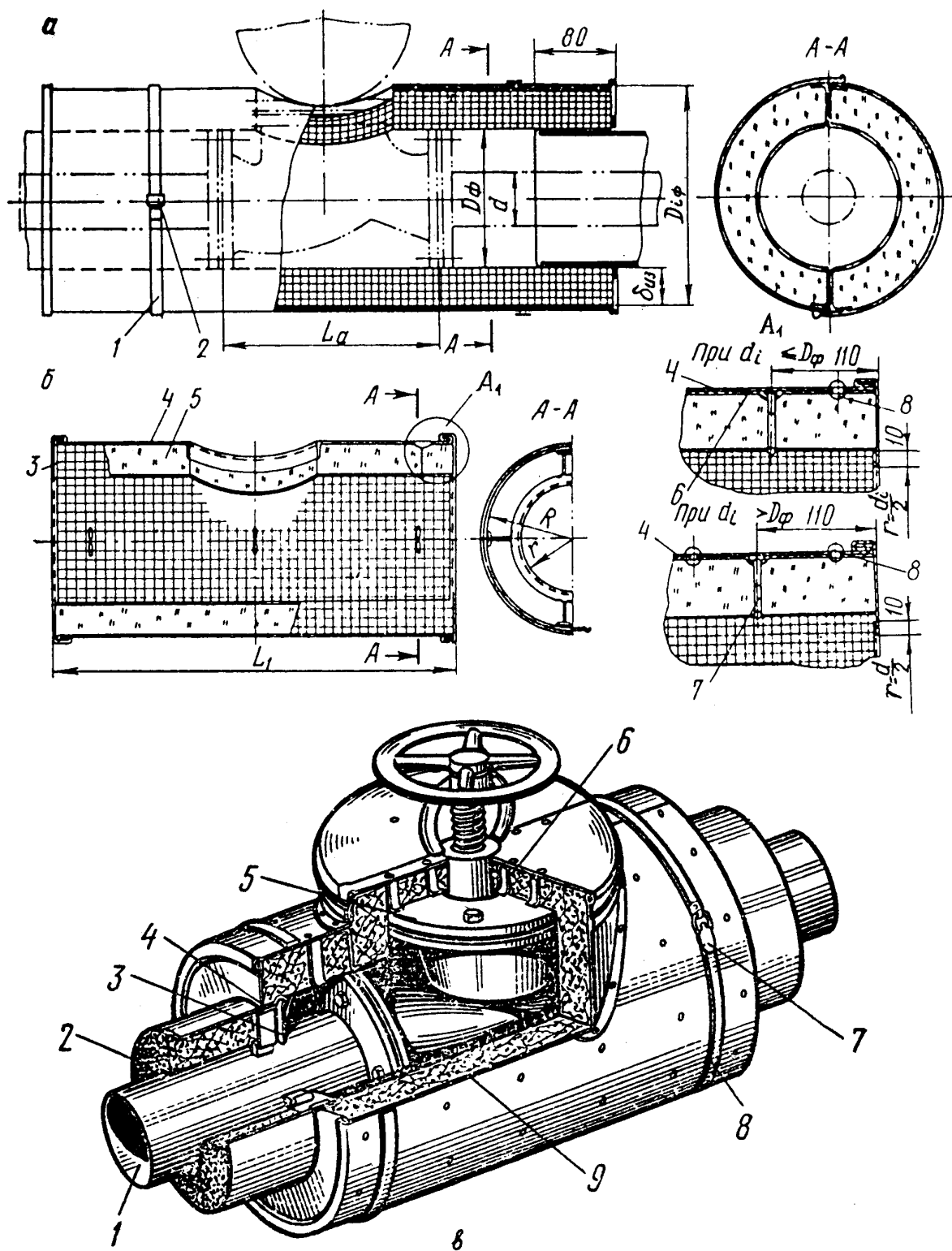


Рис. 3.9. Ізолювання арматури знімними півфутлярами: *а* – загальний вигляд ізоляції; *б* – півфутляр з теплоізоляційним швом; 1 – бандаж; 2 – замок з пряжкою; 3 – стінка торцева; 4 – стінка бокова; 5 – теплоізоляційний шар; 6 – планка; 7 – шплінт; 8 – заклепка; *в* – фланцевого клапана повнозбірними теплоізоляційними конструкціями: 1 – трубопровід; 2 – теплоізоляція трубопроводу; 3 – діафрагма; 4 – опорне кільце; 5 – клапан; 6 – стояки; 7 – замок; 8 – бандаж; 9 – знімний півфутляр

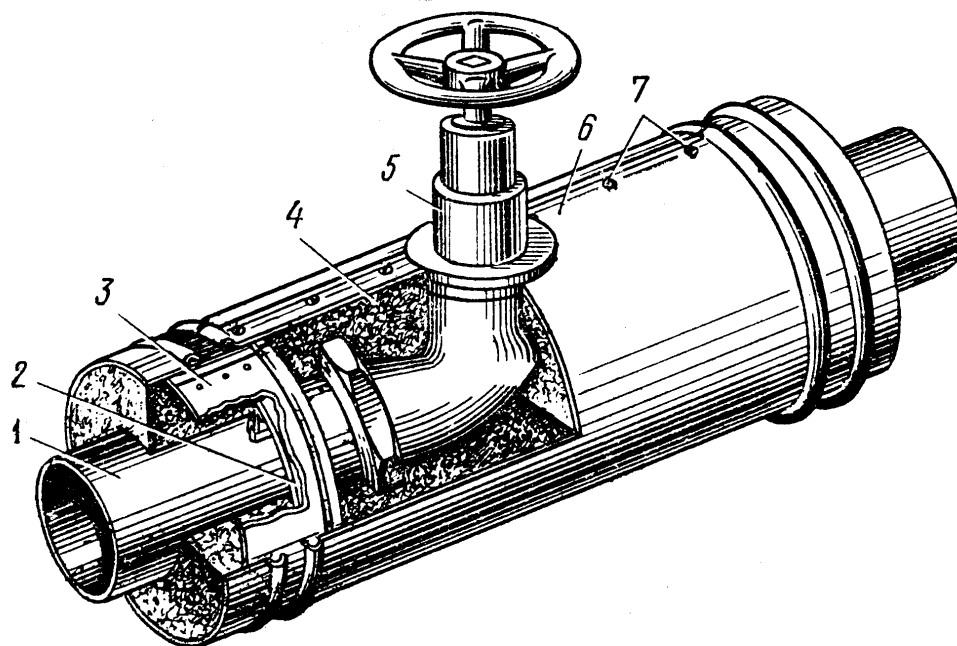


Рис. 3.10. Ізолювання муфтової арматури з покриттям металевими листами: 1 – трубопровід; 2 – опорне кільце; 3 – діафрагма; 4 – теплоізоляційний шар; 5 – клапан; 6 – металевий покривний шар; 7 – самонарізні гвинти

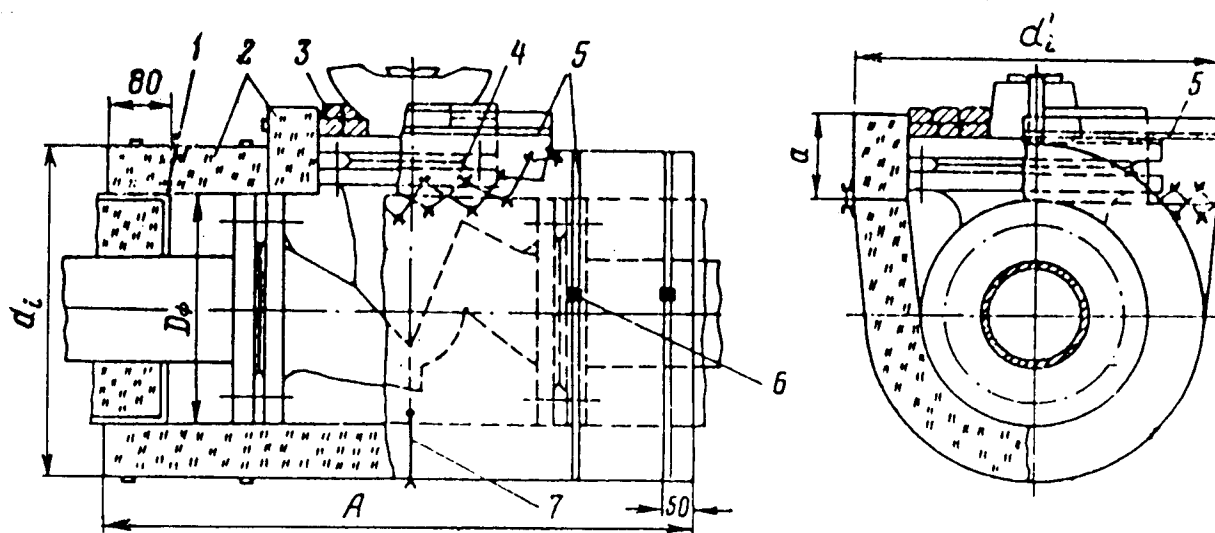


Рис. 3.11. Ізолювання арматури теплоізоляційними матами: 1 – ізоляція трубопроводу; 2 – мата мінераловатна; 3 – джгут або шнур теплоізоляційний; 4 – зшивання; 5 – бандаж; 6 – пряжка; 7 – підвіска

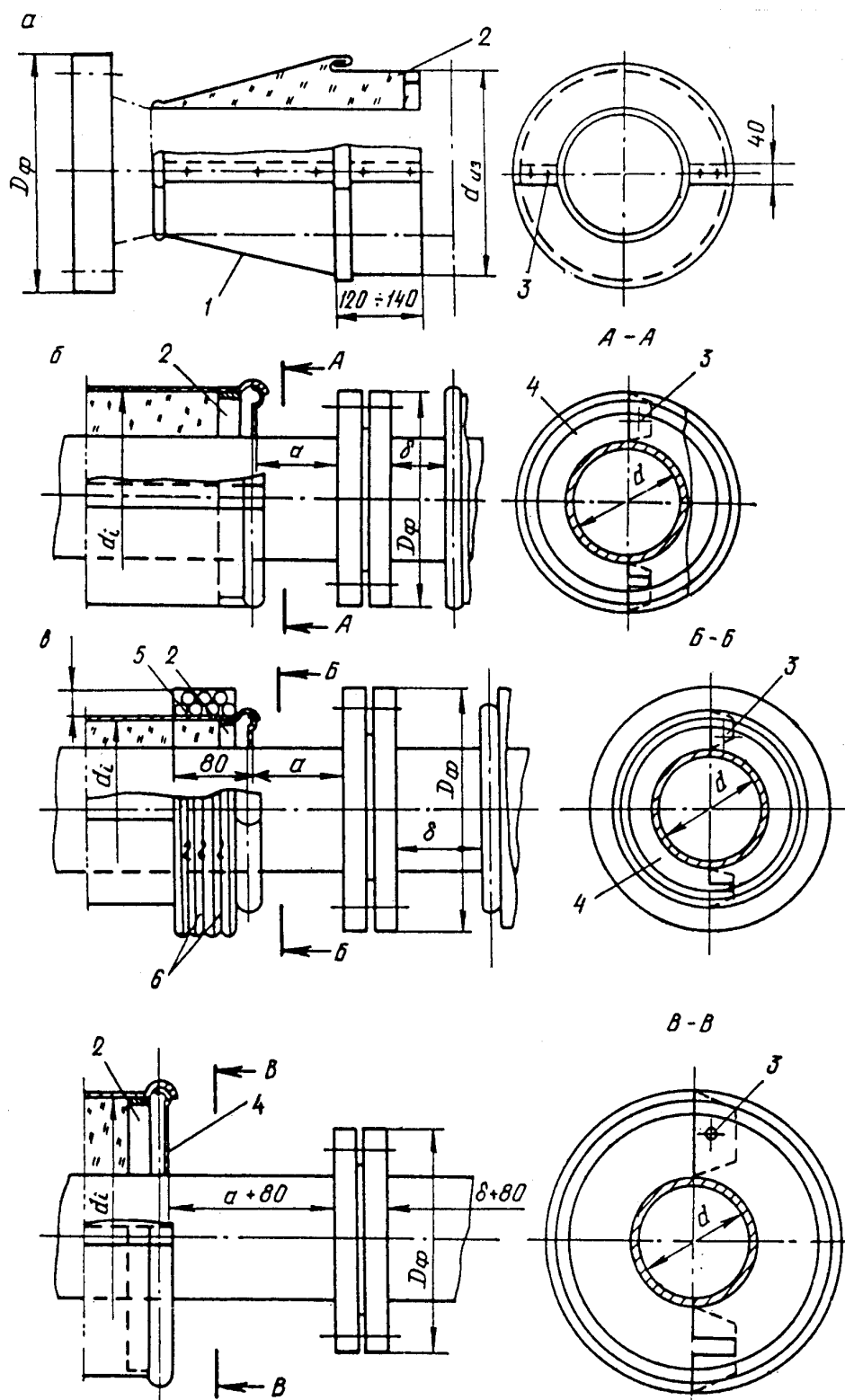


Рис. 3.12. Опорядження торців ізоляції трубопроводів: а – конічною діафрагмою; б – циліндричною діафрагмою за діаметра ізоляції d_i , рівному діаметру фланця D_{ϕ} ; в – те саме, для $d_i < D_{\phi}$; г – те саме, для $d_i > D_{\phi}$; 1 – діафрагма конічна; 2 – опорне кільце; 3 – самонарізний гвинт; 4 – діафрагма циліндрична; 5 – шнур теплоізоляційний; 6 – дротяне кільце

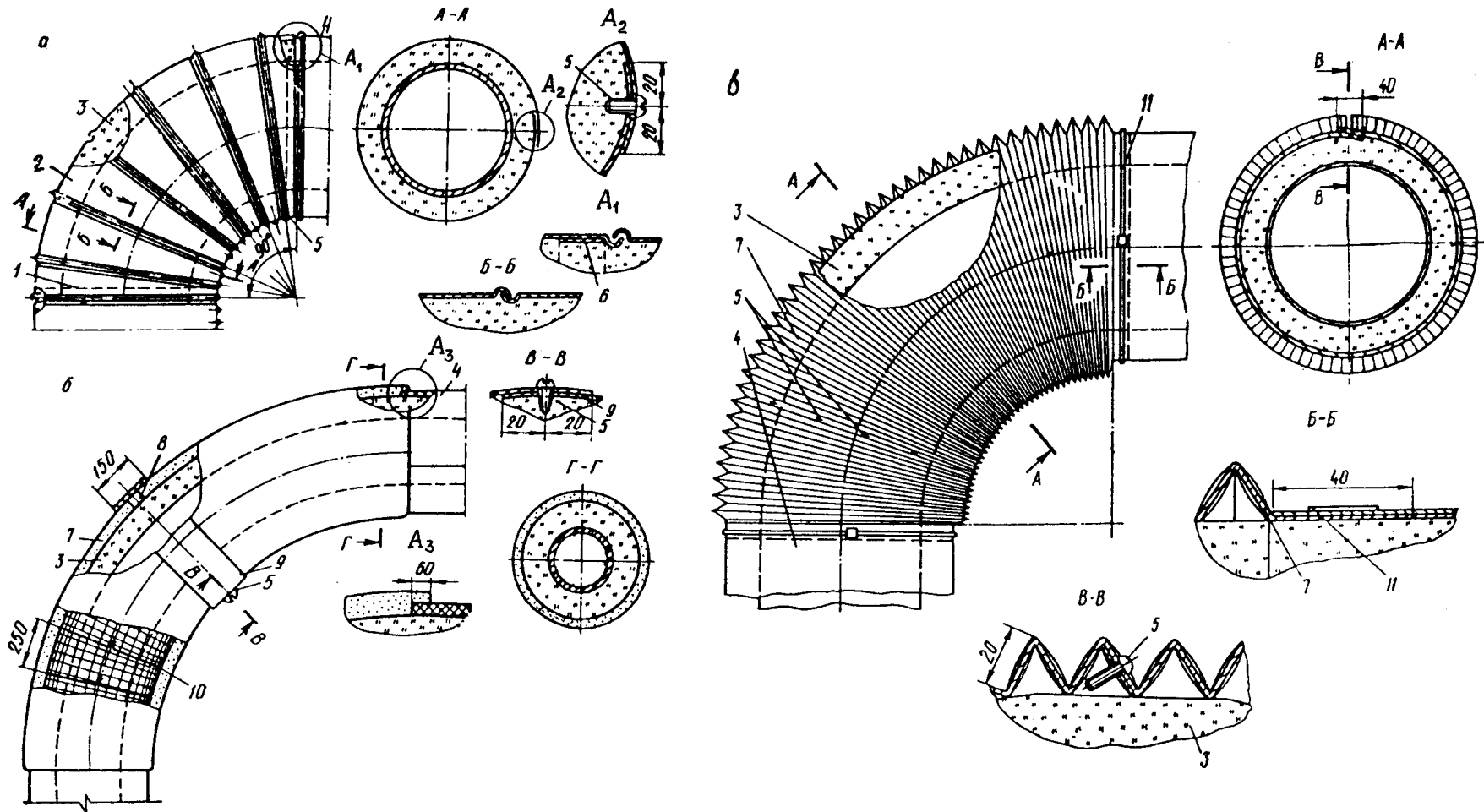


Рис. 3.13. Ізолювання відводів трубопроводів: а – з покривним шаром з металевих листів; б – з покривним шаром із штукатурки; в – з покривним шаром з гофрованих оболонок; 1 – гранична секція покриття відводу; 2 – середня секція покриття відводу; 3 – теплоізоляційний шар; 4 – покривний шар трубопроводу; 5 – самонарізний гвинт; 6 – кільце опорне; 7 – покривний шар; 8 – температурний шов; 9 – манжета; 10 – кільце; 11 – бандаж

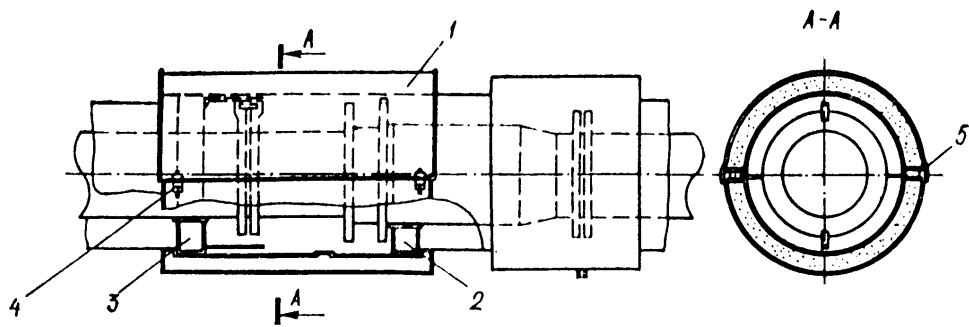


Рис. 3.14. Ізолювання сальникового компенсатора: 1 – півфутляр з теплоізоляційним наповнювачем; 2 – права опора; 3 – ліва опора; 4 – замок; 5 – азбестовий шнур

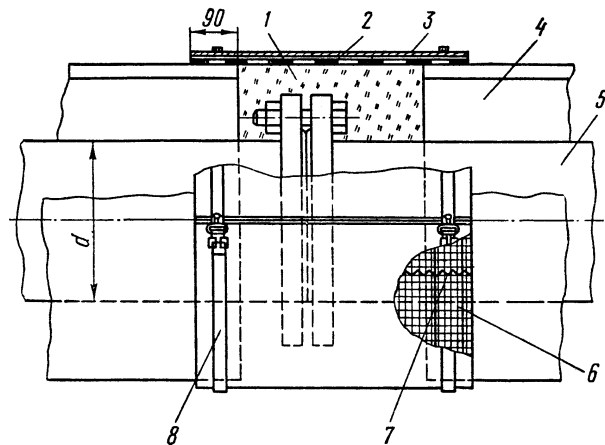


Рис. 3.15. Ізолювання фланцевого з'єднання трубопроводу мінеральною ватою: 1 – мінеральна вата; 2 – сітка; 3 – азбоцементні або металеві півциліндри; 4 – ізоляція трубопроводу; 5 – трубопровід; 6 – дротяне кільце; 7 – зшите; 8 – бандаж

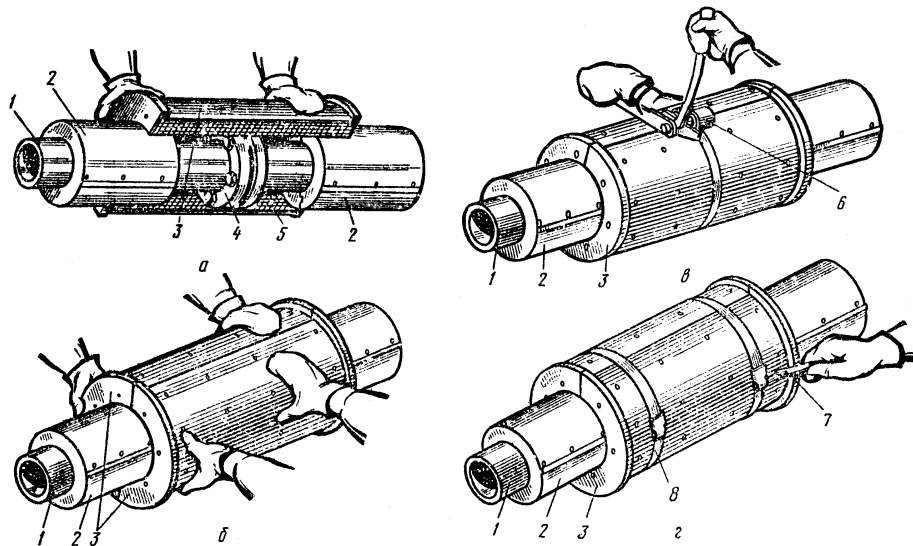


Рис. 3.16. Монтаж збірних конструкцій на фланцевих з'єднаннях трубопроводів: а – встановлення першого півфутляра; б – встановлення другого півфутляра; в – стягування півфутлярів; г – установлення й закріплення бандажів; 1 – трубопровід; 2 – теплоізоляція трубопроводу; 3 – півфутляри; 4 – фланцеве з'єднання; 5 – теплоізоляційний шар; 6 – стяжна машинка; 7 – ключ для стягування бандажів; 8 – бандаж

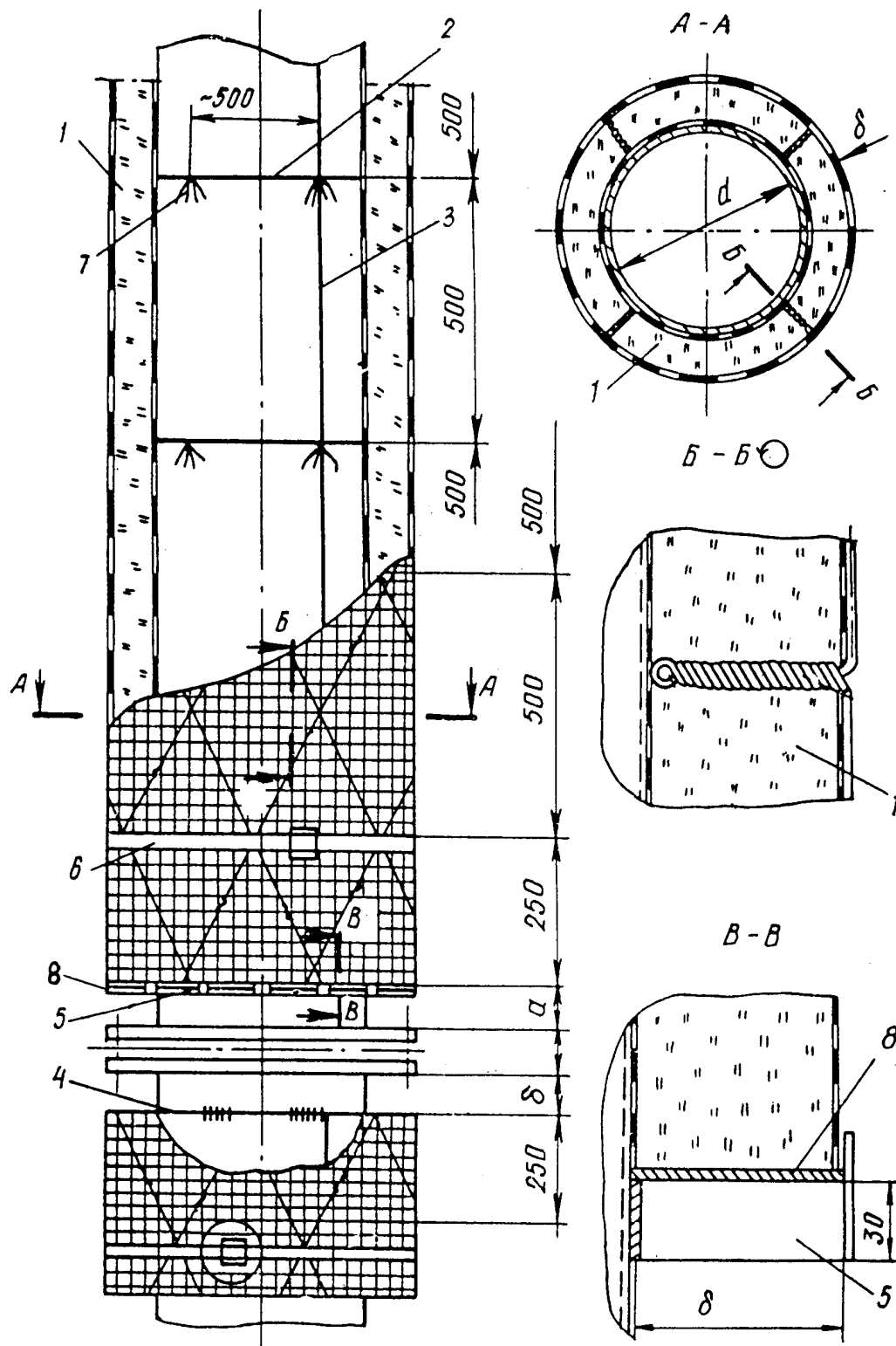


Рис. 3.17. Ізолювання вертикальних ділянок трубопроводів DN800 і більше:
 1 – теплоізоляційний шар; 2 – кільце з дроту діаметром 2 мм; 3 – струна;
 4 – кільце з дроту діаметром 5 мм; 5 – опорна полиця; 6 – бандаж;
 7 – стяжка з дроту діаметром 1,2 мм; 8 – діафрагма

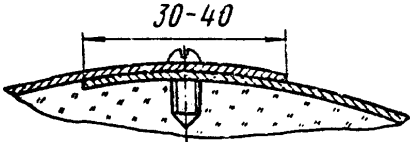
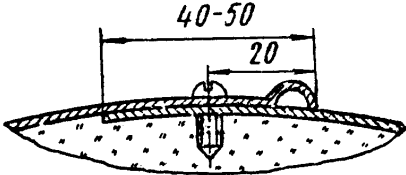
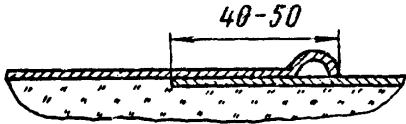

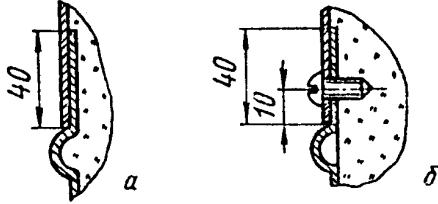
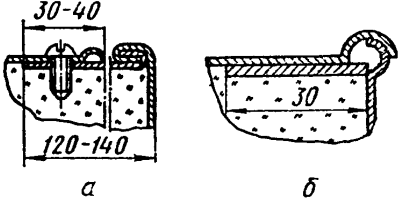
Покривні шари теплоізоляційної конструкції зазвичай використовують з рулонних матеріалів, а також із штукатурних розчинів.

Найбільшого поширення набули металеві покривні шари, які виготовляють у вигляді циліндрів (з одним місцем рознімання по твірній) або півциліндрів (з двома місцями рознімання).

Циліндри (обичайки) виготовляють з металевого листа довжиною, рівною довжині кола ізоляції з припуском 30–50 мм на перекриття поздовжнього шва, а півциліндри – з листа, довжина якого дорівнює півколу ізоляції з подвійним припуском на поздовжні шви.

З метою надання кожухам жорсткості й більшої механічної міцності вздовж їх кромek виконують зиги. Способи з'єднання металевих кожухів на поперечних і поздовжніх швах наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Види спряжень елементів металевих покривів трубопроводів

Ескіз	Застосування
	Як з'єднання в поздовжніх швах горизонтальних і вертикальних трубопроводів за діаметра ізоляції $d_i \leq 200$ мм
	У поздовжніх швах горизонтальних і вертикальних трубопроводів для $d_i > 200$ мм. У поперечних швах горизонтальних трубопроводів для $d_i > 600$ мм
	У поперечних швах горизонтальних трубопроводів за діаметра $d_i \leq 600$ мм і за потреби улаштування температурного шва за будь-якого d_i
	У поперечних швах криволінійних ділянок трубопроводів
	У поперечних швах вертикальних трубопроводів: а) для $d_i \leq 600$ мм і за потреби улаштування температурного шва за будь-якого d_i ; б) для $d_i > 600$ мм
	У торцевих швах горизонтальних і вертикальних трубопроводів біля фланцевих з'єднань: а) для $d_i \leq 350$ мм; б) для $d_i > 350$ мм

На рис. 3.18 показано улаштування покривного шару з металевих листів на вертикальній ділянці трубопроводу.

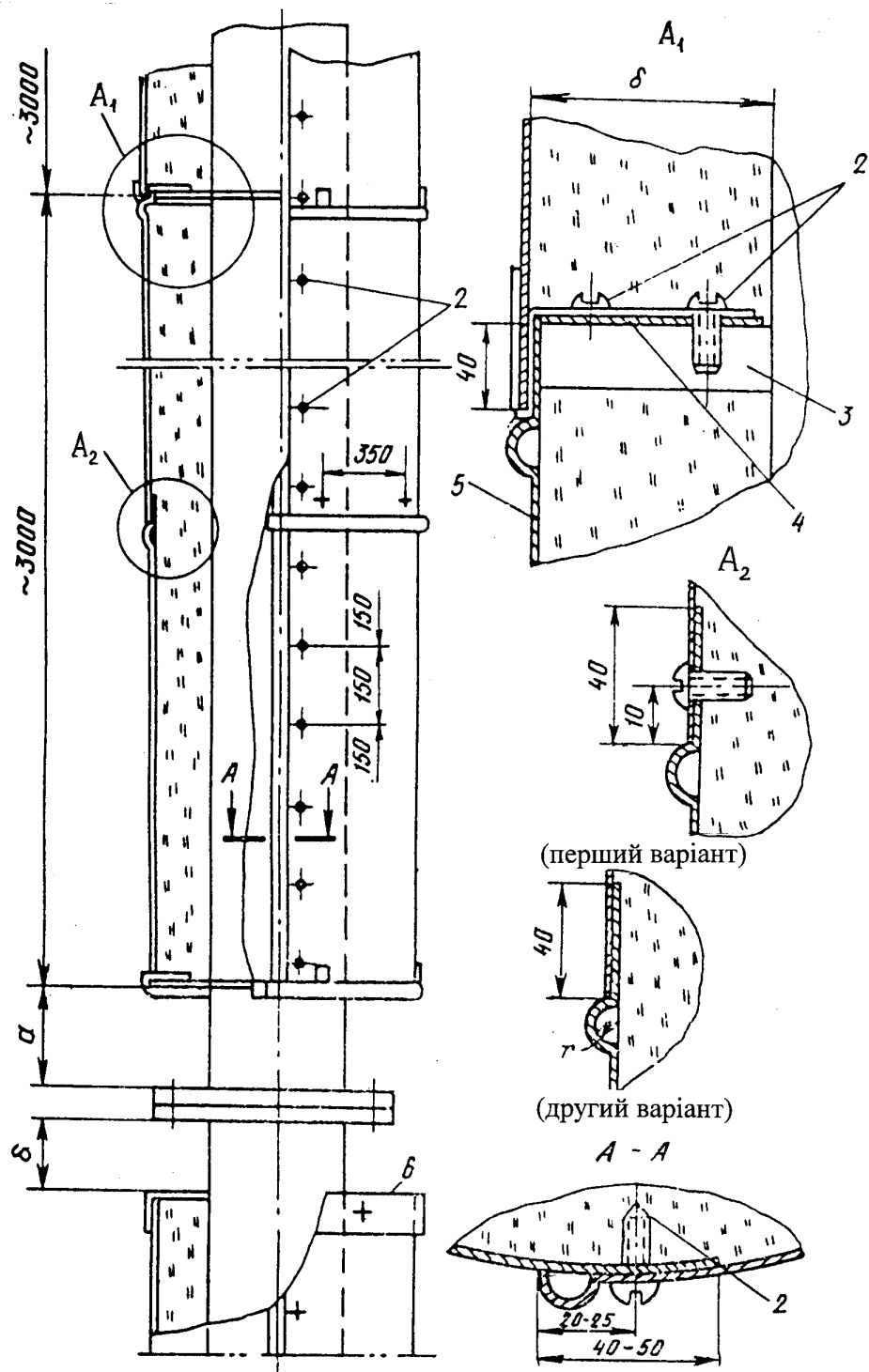


Рис. 3.18. Покривний шар з металевих листів вертикальної ділянки трубопроводу: перший варіант – за діаметра ізоляції $d_i \leq 600$ мм, другий варіант – для $d_i > 600$ мм; 1 – покриви з металевих листів; 2 – самонарізний гвинт; 3 – опорна полиця; 4 – діафрагма; 5 – підвіска; 6 – діафрагма

Крім покривних шарів з металевих листів застосовуються шари з рулонних неметалевих матеріалів (руберойду, склотканини, толю, ізолю, фольгоізолю (рис. 3.19) та ін.).

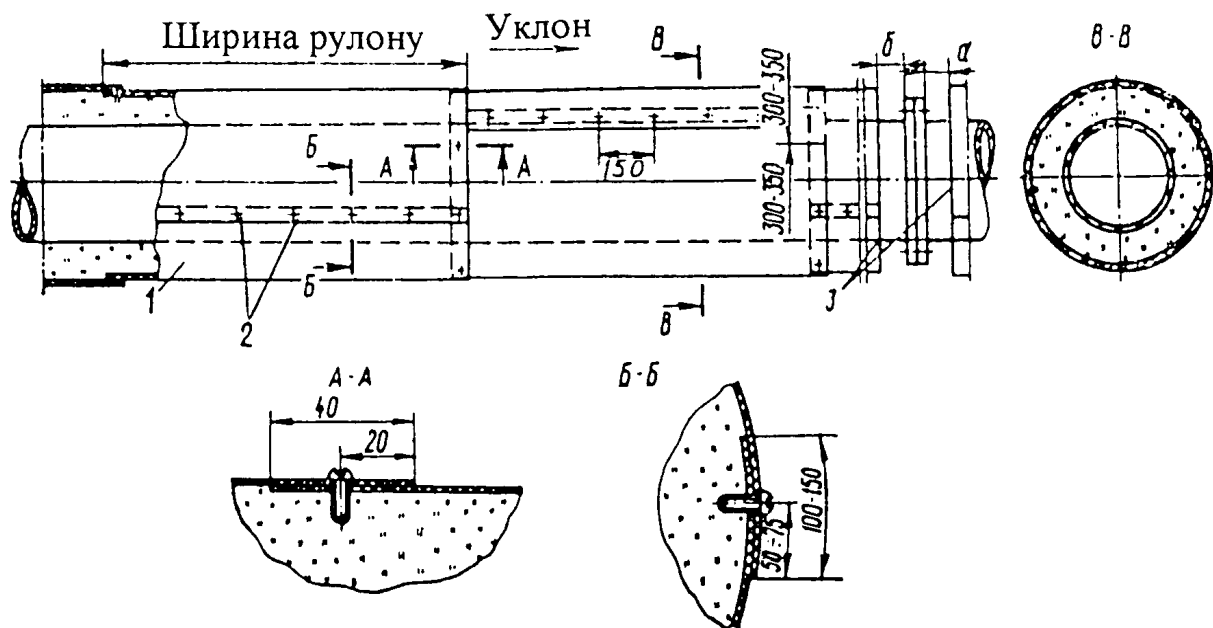


Рис. 3.19. Покривний шар з фольгоізолю: 1 – фольгоізол; 2 – самонарізний гвинт; 3 – улаштування торців

Покривні шари з рулонних неметалевих матеріалів менш надійні й довговічні, ніж з жорстких склопластикових півциліндрів або металевих листів. Крім того, більшість з них горючі, що підвищує пожежну небезпечність теплоізоляційної конструкції.

Також застосовують *штукатурні покриви*, які є неіндустріальними конструкціями. Тому цей вид покривів потрібно застосовувати як виняток (за складної конфігурації ізолюваного об'єкта, під час ізолювання об'єктів з негативними температурами речовини, за умови виконання незначного обсягу теплоізолювальних робіт).

Для ізолювання об'єктів у приміщенні застосовують азбозуритовий, азбозурито-цементний розчини й розчини, які містять гіпс. Азбозуритова та азбозурито-цементні штукатурки мають низьку механічну міцність, тому їх оклеюють тканиною. Штукатурний шар має бути мінімальним і визначатися ступенем його механічної міцності. Він повинен укладатися по каркасу, який виконується із сітки з розміром комірок 12×12 мм, або має бути сплетений з дроту.

У теплоізоляційних конструкціях трубопроводів мають передбачатися температурні шви (див. п. 2.3). Температурні шви в покривному шарі з штукатурних розчинів виконують у вигляді розривів у штукатурці завширшки 10–15 мм; у покривному шарі з поштучних виробів (наприклад, склопластикових циліндрів) спеціальні температурні шви не передбачаються, тому що ви-

роби по поперечних швах не з'єднуються; у покривному шарі з металевих кожухів по поперечних швах у місцях, передбачених для температурного розширення, гвинти не встановлюють.

Температурні шви під час прокладання трубопроводів перекривають: а) на відкритому повітрі – смугами з тонколистової оцинкованої сталі або тонколистового алюмінію; б) у каналах – смугами з ізолу або руберойду; в) у приміщенні – смугами одного з матеріалів, вказаних в переліках а) і б), або зовсім не перекривають.

Для продовження терміну служби й підвищення надійності покривного шару його часто фарбують. Для фарбування застосовують оливу та алюмінієву фарби, перхлорвінілові емалі й лаки, а також епоксидні фарби. Крім того, залежно від транспортованої речовини поверхню трубопроводу фарбують у різні кольори (або всю поверхню, або фарбою наносять смуги або кільця).

Теплоізолювання трубопроводів за умови *підземної прокладки* залежить від способу прокладки (у тунелях (прохідних каналах), непрохідних каналах, безканально).

У разі прокладки трубопроводів у *прохідних каналах* доступ до трубопроводів вільний. Тому теплоізоляційні конструкції в цьому випадку практично аналогічні конструкціям ізоляції трубопроводів наземної прокладки.

Для трубопроводів у *непрохідних каналах* теплоізоляційні конструкції не відрізняються від конструкції трубопроводів, розташованих на естакадах. Проте, внаслідок можливого швидкого руйнування під дією вологи не слід застосовувати як теплоізоляційний шар совелітові й діатомітові вироби.

Безканальну прокладку застосовують у сухих ґрунтах і в помірно вологих ґрунтах. Конструкція ізоляції в цьому випадку має крім всього витримувати навантаження від маси ґрунту, транспорту на поверхні ґрунту, запобігати зволоженню трубопроводу тощо. Тому за безканальної прокладки часто застосовують теплоізолювання монолітним армопінобетоном, бітумоперлітом, асфальтокерамзитобетоном, асфальтоізолом, пінобетоном та ін.

3.3. Теплоізоляційні конструкції технологічного обладнання з речовинами, які мають позитивну температуру

Для теплової ізоляції технологічного обладнання з позитивними температурами застосовують ті самі матеріали й вироби, що і для ізолювання трубопроводів з позитивними температурами транспортованих речовин (див. п. 3.2). Обсяги теплоізоляційних робіт наведено в табл. 3.2 і 3.3.

Ізоляцію на поверхні апаратів і ємкостей закріплюють деталями, які приварені до обладнання на підприємстві-виробникові (втулки й скоби згідно з ГОСТ 17314–71). Під час монтажу в цих деталях закріплюють знімні деталі (штирі й підвіски). Схеми розміщення приварних деталей для кріплення ізо-

ляції на обладнанні, а також конструкції приварних і знімних деталей докладно розглянуто в п. 4.

Як розвантажувальні полиці для кріплення ізоляційного шару використовують кільця жорсткості, приварені до апаратів. Якщо приварені полиці використовувати недоцільно, то через 3–4 м по висоті обладнання влаштовують спеціальні стяжні полиці, які спираються на втулки або скоби.

Розвантажувальні полиці повинні мати ширину, що дорівнює ширині теплоізоляційного й покривного шарів, а із застосуванням покривного шару зі штукатурки – ширині теплоізоляційного шару й половині товщини покривного шару.

Ізолювання готовими теплоізоляційними конструкціями (збірними й повнозбірними) застосовують найчастіше для апаратів з незначною кількістю частин, які виступають (наприклад, вертикальних циліндричних ємкостей, теплообмінників та ін.). Приклади ізолювання таких апаратів наведені в п. 4 (рис. 4.16, 4.17).

Для ізолювання обладнання обгортковими поштучними виробами застосовують прошивні мінераловатні мати в різних обкладках, прошивні скловатні й мінераловатні мати без обкладок, м'які й напівжорсткі плити з мінеральної вати на зв'язках, а також напівжорсткі мати й плити із штапельного скляного полотна на зв'язках.

Вироби укладаються в один або два шари й закріплюються на апараті штирями або підвісками. Штирі виготовляються одинарними (для одношарової ізоляції) і подвійними (для двошарової). При цьому мати в обкладках із склотканини для ізолювання вертикальних апаратів застосовувати не рекомендується. Приклади ізолювання наведені в п. 4 (рис. 4.12– 4.15).

Ізолювання жорсткими виробами (совелітовими, вулканітовими, вапняково-кремнеземистими, перлітовими та ін. плити) застосовується найчастіше для апаратів великих діаметрів (див. рис. 4.12– 4.15).

Покривний шар ізоляційних конструкцій апаратів зазвичай виготовляють з металевих, склопластикових листів, а в окремих випадках – з рулонних матеріалів (лакосклотканини) та з мокрої штукатурки.

Найбільш розповсюдженим є покриття з металевих листів – обичайок, які застосовують для ізолювання вертикальних апаратів із значними відстанями між розташованими на висоті елементами, які виступають (рис. 3.20).

Окремі листи в обичайці з'єднують фальцем ($B-B$), а обичайки по поздовжніх швах – внапусток із зигом ($\Gamma-\Gamma$). Закріплюють листи самонарізними гвинтами через 150 мм по довжині. Обичайки по поперечних швах з'єднують внапусток, закріплюючи шов самонарізними гвинтами через 300 мм таким чином, щоб листи верхньої обичайки упиралися в зиг, виконаний на листах нижньої обичайки ($B-B$). Біля опорних полиць (розвантажувальних пристроїв) обичайки встановлюють на підвіски (вузол A , перший варіант) або опорні лапки (вузол B , другий варіант). У цих місцях з метою утворення температурного шва гвинти не встановлюють.

Таблиця 3.2. Поверхня ізоляційного шару одного метра довжини заізольованої циліндричної поверхні та одного еліптичного днища апарата [15]

Зовнішній діаметр апарата, мм	Поверхня ізоляції 1 м довжини циліндричного об'єкта, м ² , за товщини ізоляції, мм										Поверхня ізоляції одного еліптичного днища апарата, м ² , за товщини ізоляції, мм									
	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
426	1,59	1,72	1,84	1,97	2,09	2,22	2,34	2,47	2,59	–	0,31	0,39	0,43	0,47	0,53	0,60	0,70	0,75	0,82	–
529	1,91	2,04	2,16	2,29	2,41	2,54	2,67	2,79	2,92	3,04	0,45	0,51	0,57	0,64	0,71	0,78	0,87	0,95	1,04	1,13
630	2,23	2,36	2,48	2,61	2,73	2,86	2,99	3,11	3,25	3,37	0,60	0,70	0,75	0,88	0,91	0,99	1,08	1,18	1,25	1,38
730	2,51	2,64	2,76	2,89	3,01	3,14	3,27	3,39	3,51	3,64	0,79	0,87	0,95	1,04	1,13	1,23	1,34	1,48	1,60	1,64
830	2,83	2,95	3,07	3,20	3,33	3,45	3,58	3,70	3,83	3,96	0,99	1,08	1,15	1,25	1,38	1,48	1,55	1,67	1,88	1,94
930	3,14	3,27	3,39	3,52	3,64	3,77	3,89	4,02	4,15	4,27	1,22	1,32	1,43	1,58	1,64	1,76	1,88	2,00	2,12	2,25
1020	3,45	3,58	3,71	3,82	3,96	4,08	4,21	4,34	4,46	4,56	1,48	1,53	1,64	1,79	1,90	2,02	2,16	2,28	2,42	2,57
1220	4,08	4,20	4,34	4,45	4,60	4,70	4,84	4,96	5,08	5,20	2,02	2,16	2,28	2,42	2,57	2,72	2,80	3,00	3,16	3,30
1420	4,70	4,85	4,97	5,08	5,20	5,35	5,46	5,60	5,72	5,85	2,72	2,80	3,00	3,16	3,30	3,47	3,63	3,80	3,98	4,15
1620	5,35	5,46	5,60	5,72	5,85	5,97	6,10	6,23	6,35	6,50	3,47	3,63	3,80	3,98	4,15	4,33	4,52	4,70	4,91	5,10
1820	5,97	6,10	6,22	6,35	6,50	6,60	6,72	6,85	7,00	7,10	4,33	4,52	4,70	4,91	5,10	5,30	5,52	5,70	5,94	6,20
2020	6,60	6,72	6,85	7,00	7,10	7,24	7,35	7,48	7,60	7,73	5,30	5,52	5,70	5,94	6,20	6,35	6,48	6,68	6,90	7,20
2220	7,24	7,35	7,48	7,60	7,74	7,85	8,00	8,10	8,24	8,36	6,35	6,48	6,68	6,90	7,20	7,50	7,75	7,87	8,25	8,50
2420	7,86	8,00	8,10	8,23	8,36	8,50	8,62	8,75	8,86	9,00	7,50	7,75	7,87	8,25	8,50	8,65	9,01	9,10	9,45	9,66
2620	8,50	8,60	8,75	8,86	9,00	9,12	9,25	9,36	9,50	9,62	8,65	9,01	9,17	9,45	9,66	10,1	10,4	10,7	10,9	11,24
2820	9,13	9,25	9,36	9,50	9,62	9,75	9,90	10,0	10,1	10,2	10,1	10,4	10,7	10,9	11,24	11,5	11,9	12,13	12,47	12,75
3020	9,70	9,90	10,0	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,9	11,3	11,7	12,0	12,3	12,6	12,8	13,2	13,5	13,8	14,1
3220	10,4	10,5	10,6	10,8	10,9	11,0	11,1	11,2	11,3	11,5	12,8	13,2	13,5	14,1	14,4	14,6	14,8	15,1	15,4	15,8
3430	11,0	11,1	11,2	11,4	11,5	11,6	11,8	11,9	12,0	12,1	14,4	14,8	15,1	15,4	15,8	16,1	16,5	16,8	17,2	17,5
3620	11,6	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,4	12,5	12,6	12,8	16,2	16,5	16,8	17,2	17,5	18,0	18,4	18,7	19,1	19,4
3860	12,3	12,4	12,5	12,6	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,4	18,0	18,4	18,7	19,1	19,4	19,8	20,2	20,6	20,9	21,2
4020	12,9	13,0	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	14,0	19,8	20,2	20,6	21,0	21,4	21,8	22,2	22,6	23,0	23,4

Таблиця 3.3. Об'єм ізоляційного шару одного метра довжини заізольованої циліндричної поверхні та одного еліптичного днища апарата [15]

Зовнішній діаметр апарата, мм	Об'єм ізоляції 1 м довжини циліндричного об'єкта, м ³ , за товщини ізоляції, мм										Об'єм ізоляції одного еліптичного днища апарата, м ³ , за товщини ізоляції, мм									
	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
426	0,059	0,092	0,127	0,165	0,206	0,248	0,294	0,343	0,393	—	0,011	0,015	0,023	0,033	0,043	0,055	0,065	0,080	0,094	—
529	0,072	0,111	0,153	0,198	0,245	0,294	0,346	0,400	0,456	0,516	0,016	0,025	0,034	0,048	0,068	0,076	0,089	0,116	0,127	0,146
630	0,084	0,130	0,179	0,230	0,283	0,339	0,397	0,458	0,523	0,589	0,022	0,034	0,045	0,064	0,081	0,101	0,119	0,144	0,165	0,188
730	0,095	0,147	0,204	0,258	0,317	0,378	0,442	0,509	0,578	0,650	0,029	0,044	0,058	0,083	0,104	0,129	0,150	0,182	0,207	0,234
830	0,108	0,165	0,226	0,289	0,354	0,422	0,492	0,565	0,640	0,720	0,038	0,055	0,074	0,104	0,130	0,161	0,187	0,224	0,255	0,287
930	0,121	0,195	0,251	0,320	0,392	0,466	0,543	0,622	0,704	0,776	0,047	0,069	0,106	0,127	0,159	0,195	0,226	0,271	0,307	0,344
1020	0,133	0,204	0,276	0,352	0,430	0,510	0,593	0,678	0,766	0,856	0,054	0,079	0,132	0,145	0,179	0,224	0,256	0,284	0,346	0,406
1220	0,158	0,241	0,326	0,414	0,505	0,598	0,693	0,791	0,891	0,995	0,077	0,111	0,181	0,203	0,251	0,305	0,351	0,419	0,470	0,524
1420	0,18	0,28	0,38	0,48	0,58	0,67	0,80	0,91	1,02	1,13	0,104	0,149	0,224	0,270	0,333	0,404	0,463	0,549	0,614	0,684
1620	0,21	0,32	0,43	0,54	0,66	0,78	0,90	1,02	1,15	1,27	0,135	0,193	0,287	0,347	0,426	0,514	0,590	0,698	0,778	0,862
1820	0,23	0,35	0,48	0,60	0,73	0,84	1,00	1,13	1,28	1,41	0,170	0,243	0,356	0,433	0,531	0,640	0,730	0,863	0,960	1,06
2020	0,26	0,39	0,53	0,67	0,81	0,95	1,10	1,25	1,41	1,55	0,208	0,294	0,431	0,529	0,647	0,764	0,89	1,05	1,163	1,28
2220	0,28	0,43	0,58	0,73	0,88	1,04	1,20	1,36	1,52	1,69	0,251	0,358	0,514	0,647	0,775	0,915	1,06	1,25	1,39	1,52
2420	0,31	0,47	0,63	0,79	0,96	1,13	1,30	1,47	1,66	1,82	0,298	0,426	0,602	0,75	0,91	1,083	1,24	1,46	1,62	1,79
2620	0,34	0,51	0,68	0,86	1,07	1,22	1,40	1,58	1,78	1,96	0,348	0,496	0,70	0,88	1,069	1,26	1,45	1,70	1,89	2,06
2820	0,36	0,54	0,73	0,92	1,11	1,32	1,50	1,70	1,90	2,10	0,404	0,574	0,806	1,01	1,23	1,45	1,67	1,96	2,16	2,38
3020	0,39	0,58	0,78	0,98	1,18	1,39	1,60	1,81	2,02	2,24	0,46	0,66	0,87	1,15	1,40	1,68	1,90	2,22	2,46	2,69
3220	0,41	0,62	0,83	1,04	1,26	1,48	1,70	1,92	2,15	2,38	0,54	0,74	0,97	1,30	1,59	1,89	2,14	2,51	2,74	3,04
3420	0,44	0,66	0,88	1,11	1,33	1,57	1,80	2,04	2,28	2,52	0,59	0,84	1,11	1,47	1,78	2,12	2,41	2,82	3,06	3,41
3620	0,46	0,69	0,93	1,17	1,41	1,65	1,90	2,15	2,40	2,66	0,66	0,94	1,23	1,64	1,98	2,35	2,61	3,14	3,46	3,79
3820	0,49	0,73	0,98	1,23	1,48	1,74	2,00	2,26	2,53	2,79	0,74	1,04	1,37	1,83	2,21	2,61	2,98	3,49	3,84	4,19
4020	0,51	0,77	1,03	1,29	1,56	1,85	2,10	2,37	2,65	2,93	0,82	1,15	1,51	2,02	2,44	2,91	3,31	3,85	4,29	4,63

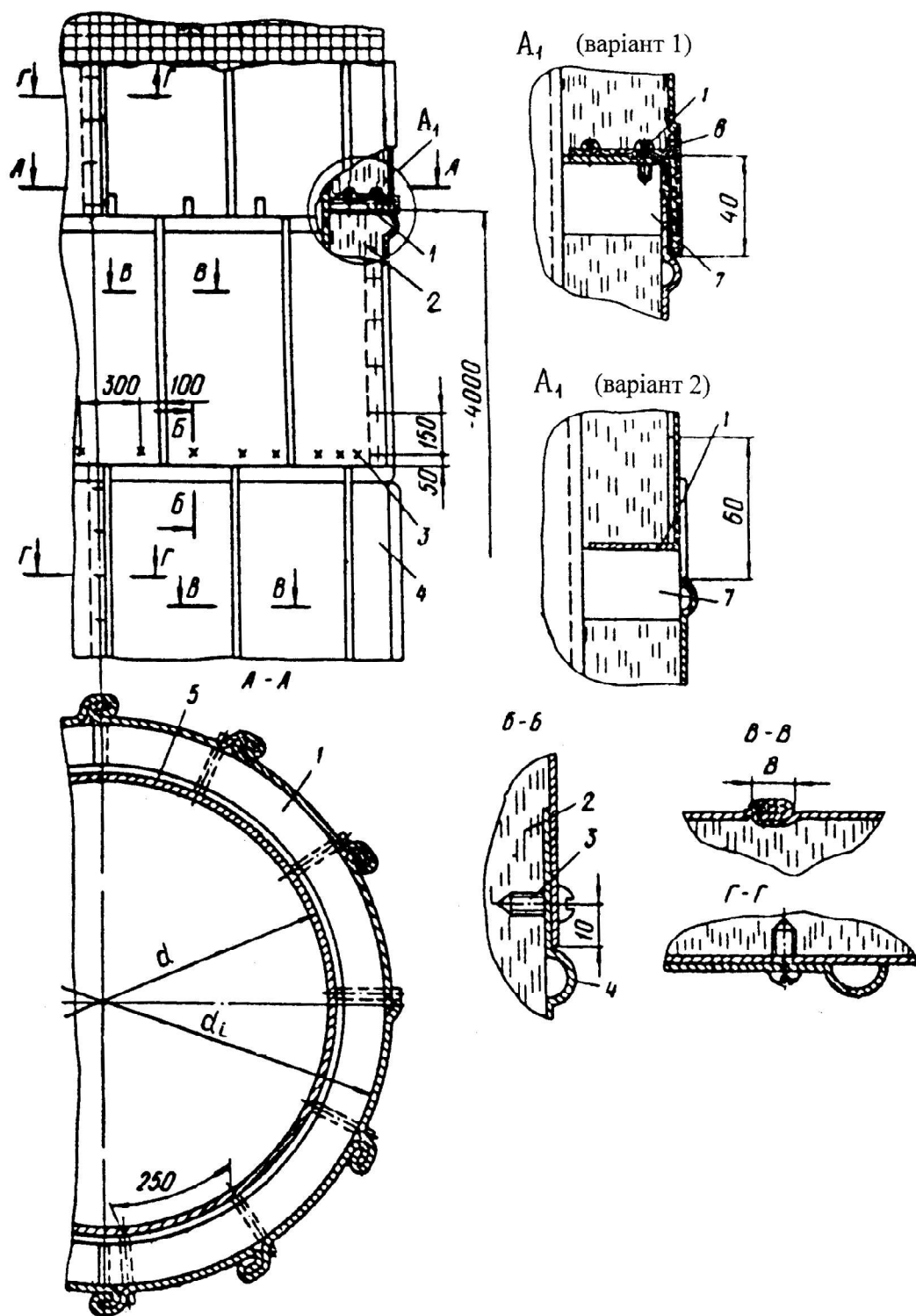
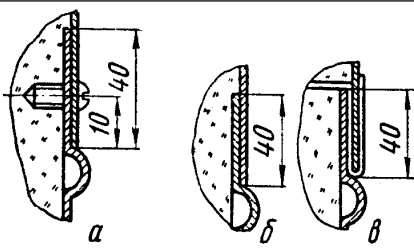
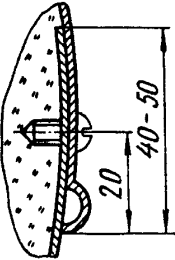
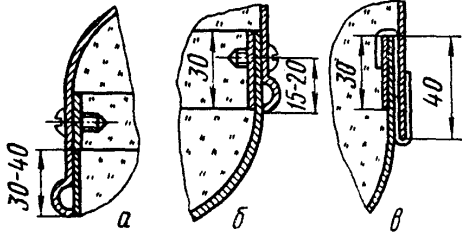
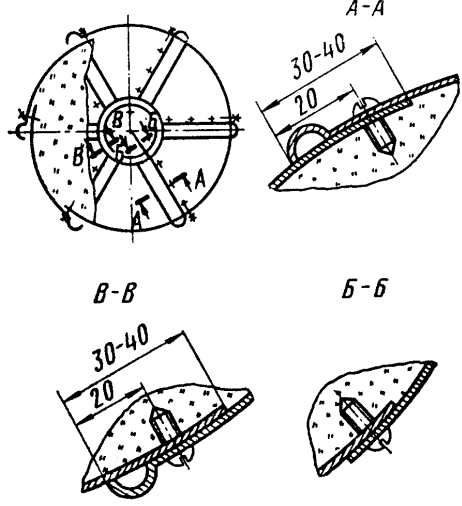
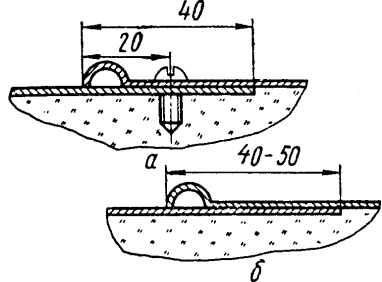
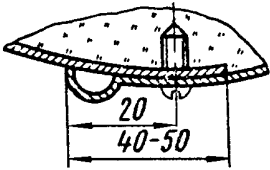
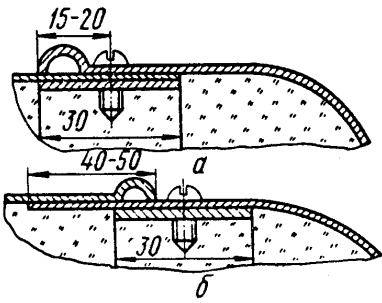
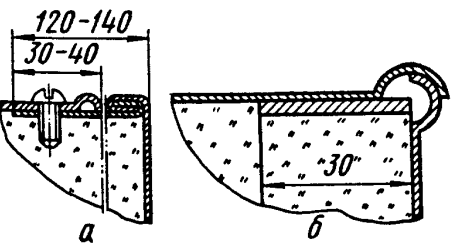


Рис. 3.20. Покриття ізоляції вертикальних циліндричних апаратів діаметром 1 м і більше металевими обичайками: 1 – діафрагма; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – самонарізний гвинт; 4 – покривний шар; 5 – ізольований апарат; 6 – підвіска; 7 – розвантажувальний пристрій

Способи спряжень і з'єднань елементів металевих покривів, які встановлюються на технологічному обладнанні, наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Види спряжень і з'єднань елементів металевих покривів вертикальних і горизонтальних апаратів

Ескіз	Застосування
	<p>У поперечних швах вертикальних апаратів: <i>a</i> – у місці кріплення самонарізними гвинтами; <i>б</i> – у місці температурного шва; <i>в</i> – за умови спирання на розвантажувальний пристрій</p>
	<p>У поздовжніх швах вертикальних апаратів</p>
	<p>За умови кріплення покривів верхнього (<i>a</i>) і нижнього (<i>б, в</i>) днища вертикальних апаратів до покриву циліндричної частини</p>
	<p><i>A-A</i> – у поздовжніх швах днищ вертикальних і горизонтальних апаратів <i>Б-Б</i> – для з'єднання шва накладки днища вертикальних і горизонтальних апаратів <i>В-В</i> – за умови кріплення накладки до днища вертикальних і горизонтальних апаратів</p>
	<p>У поперечних швах горизонтальних апаратів: <i>a</i> – у місці кріплення самонарізними гвинтами; <i>б</i> – у місці температурного шва</p>

Ескіз	Застосування
	У поздовжніх швах горизонтальних апаратів
	За умови кріплення днищ горизонтальних апаратів до циліндричної частини: а – без температурного шва; б – з температурним швом
	У торцевих швах вертикальних і горизонтальних апаратів біля фланцевих з'єднань: а – за діаметра ізоляції $d_i \leq 350$ мм; б – для $d_i > 350$ мм

Покриття картинами (картами) виконують на апаратах із значними відстанями між розташованими по горизонталі елементами, які виступають (рис. 3.21). Довжина картин залежить від відстані між опорними полицями (розвантажувальними пристроями), а ширина визначається шириною металевих листів. По довжині картин окремі листи з'єднують лежачим фальцем (Б–Б). Окремі карти по поздовжніх швах встановлюють внапусток і з'єднують самонарізними гвинтами через 150 мм. По поперечних швах картини встановлюють на підвіски, закріплені на опорних лапках (вузол А, перший варіант), або безпосередньо на опорні лапки (вузол А, другий варіант). Отже, поперечні шви утворюються лише в місцях спирання картин. Для забезпечення температурного шва в цих місцях гвинти не встановлюються.

Покриви з окремих листів застосовують для ізолювання вертикальних апаратів із значною кількістю елементів, що виступають (рис. 3.22). Поздовжні шви покривів виконують внапусток із зигом (Б–Б) і з'єднують самонарізними гвинтами через 150 мм, а поперечні шви – внапусток таким чином, щоб верхній лист спирався на зиг, виконаний на нижньому листі (Б–Б). По поперечних швах через 300 мм встановлюють самонарізні гвинти. Біля розвантажувальних пристроїв (опорних полиць) листи розташовують на підвісках, закріплених на опорних лапках (вузол А, перший варіант), або безпосередньо на опорних лапках (вузол А, другий варіант). У цих місцях самонарізні гвинти не встановлюються.

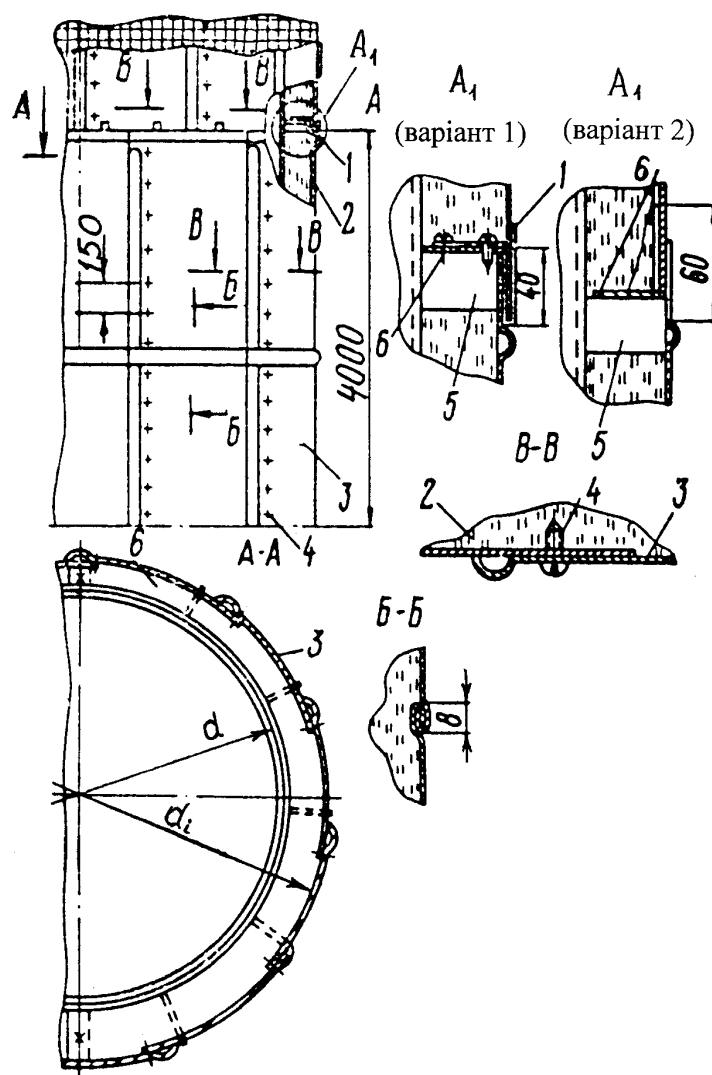


Рис. 3.21. Покриття ізоляції вертикальних циліндричних апаратів діаметром 1 м і більше картинами: 1 – підвіска; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – покриття з металевих листів; 4 – покривний шар; 5 – самонарізний гвинт; 6 – ізольований апарат; 7 – діафрагма

Покривні шари ізоляції горизонтальних апаратів виконують обичайками та окремими листами (другий спосіб застосовують за наявності на апараті значної кількості елементів, які виступають: ребер жорсткості, опор, штуцерів тощо).

На рис. 3.23 показано покриття ізоляції горизонтальних апаратів діаметром 0,5 м і більше обичайками. Обичайки по поздовжніх швах з'єднують внапусток із зигом (вузол D), закріплюючи шов самонарізними гвинтами через 150 мм, а по поперечних швах – також внапусток із зигом, встановлюючи гвинти через 300–350 мм. Для надання покривному шару потрібних форм й жорсткості на апарат з ізоляційним шаром з волокнистих виробів поблизу днищ і фланцевих з'єднань апарата, а також на його циліндричній частині через 3–4 м установлюють опорні кільця (опорні пристрої).

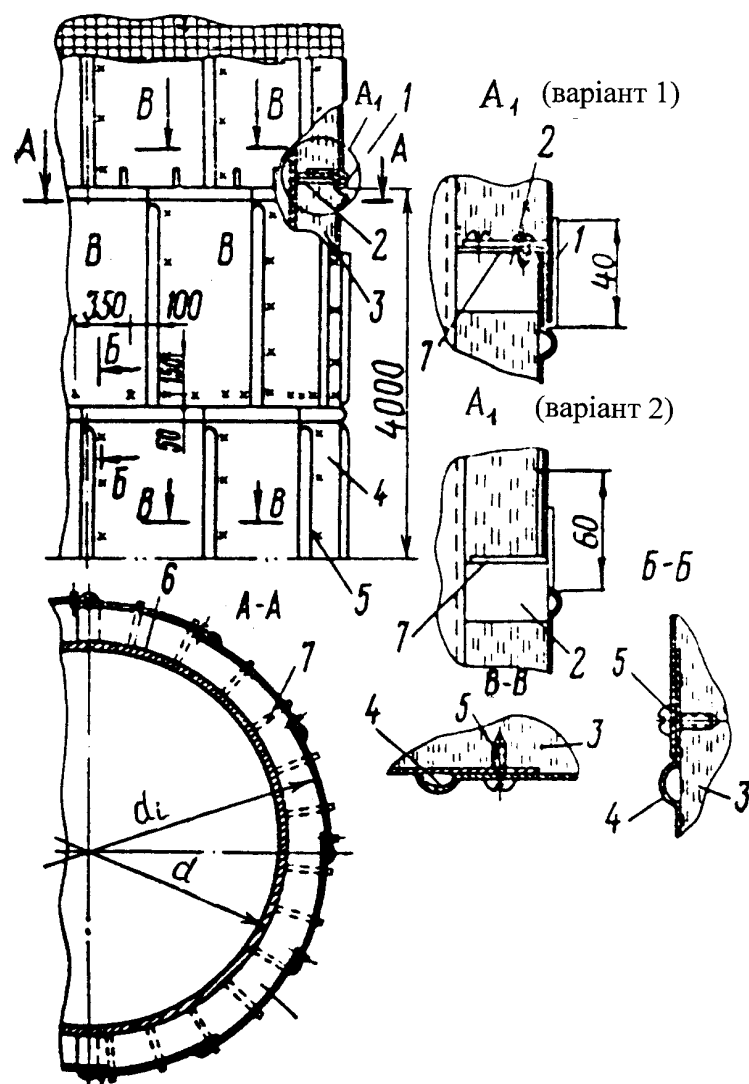


Рис. 3.22. Покриття ізоляції вертикальних циліндричних апаратів діаметром 1 м і більше окремими листами: 1 – підвіска; 2 – розвантажувальний пристрій; 3 – теплоізоляційний шар; 4 – покривний шар; 5 – самонарізний гвинт; 6 – ізольований апарат; 7 – діафрагма

За наявності на апаратах фланцевих з'єднань ізоляція біля цих фланців має бути опоряджена діафрагмами, виготовленими з того самого матеріалу, що й покривний шар. Температурні шви на горизонтальних апаратах виконують біля днищ і через 3–4 м на циліндричній частині апарата. У цьому випадку на поперечних швах самонарізні гвинти не встановлюють.

Поблизу елементів апарата, які виступають (штуцерів, люків, лазів, опор тощо), на поверхні покриву мають бути встановлені накладки з металу, з якого виконано покрив. Накладки являють собою окремі деталі круглої або прямокутної форми із зигами по периметру і з вирізами по формі елемента, що виступає, біля яких її встановлюють. Накладки закріплюють самонарізними гвинтами.

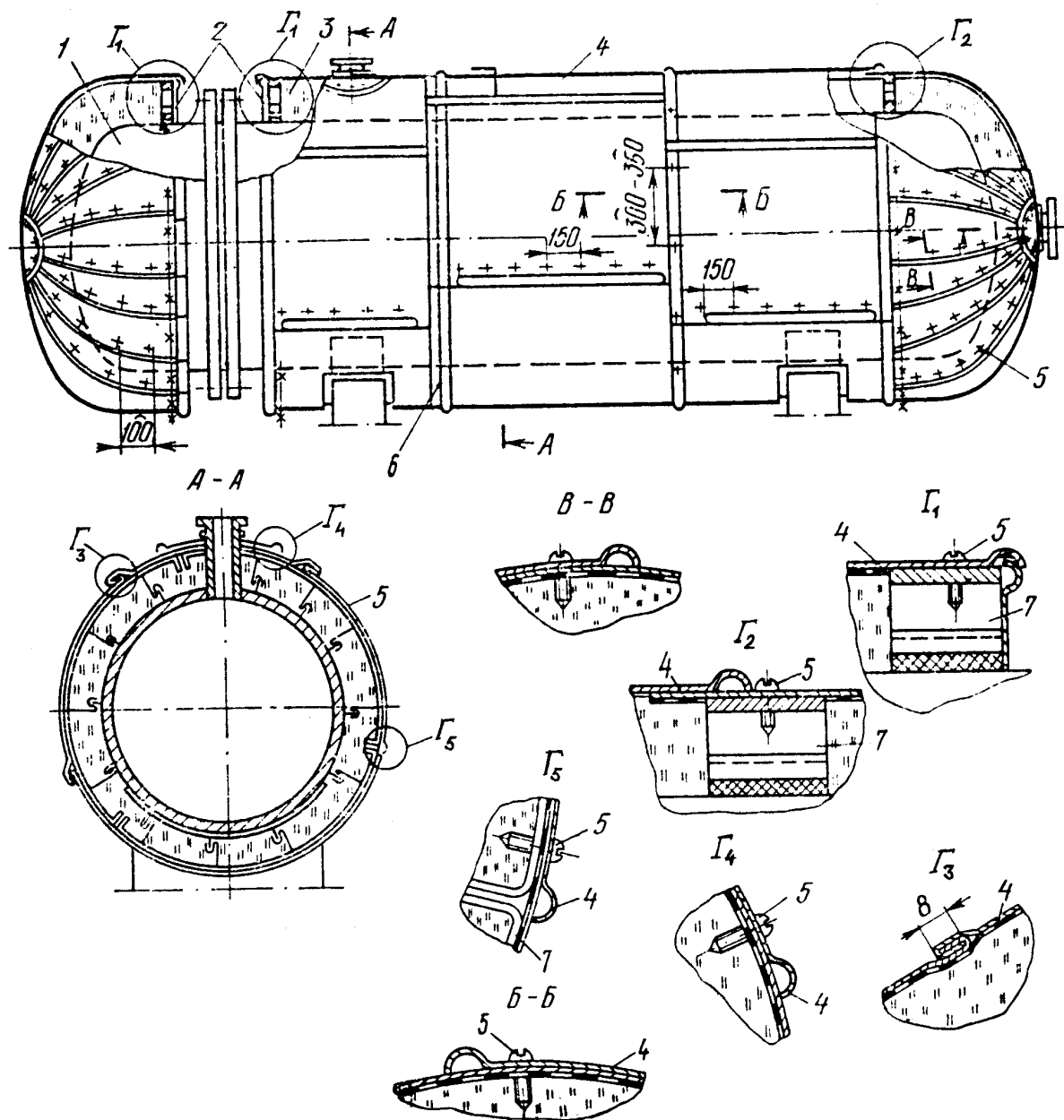


Рис. 3.23. Покриття ізоляції горизонтальних циліндричних апаратів діаметром 0,5 м і більше обичайками: 1 – ізольований апарат; 2 – діафрагма; 3 – теплоізоляційний шар; 4 – покривний шар; 5 – самонарізний гвинт; 6 – температурний шов; 7 – опорне кільце

Конструкція металевого покривного шару днищ залежить від форми днища.

Покриви ізоляції конічних, а також еліптичних і сферичних днищ малої кривизни має форму конуса (рис. 3.24, а). За діаметра апарата до 1 м конус може бути виготовлено у вигляді одного сектора й мати з'єднання внапусток із зигом; за більших значень діаметра апарата конус виготовляють з кількох секторів. За відсутності на днищі штуцерів і люків конус виконують без місця рознімання, а за наявності елементів, які виступають – з місцем рознімання. Конус повинен

мати циліндричну відбортовку довжиною 100–150 мм для з'єднання з циліндричною частиною апарата. Відбортовку з конічною частиною з'єднують фальцем.

Під час покриття ізоляції еліптичних і сферичних днищ значної кривизни (рис. 3.24, б) металевий кожух виконують з окремих секторів. Розмір основи (хорди) окремого сектора для днищ апаратів з діаметром ізоляції 500–1800 мм – 150 мм, з діаметром ізоляції 2020–3620 мм – 250 мм, а з діаметром ізоляції 4000 мм і більше – 500–700 мм. Сектори виконують внапусток із зиггом, укріплюючи шов самонарізними гвинтами з кроком 150 мм.

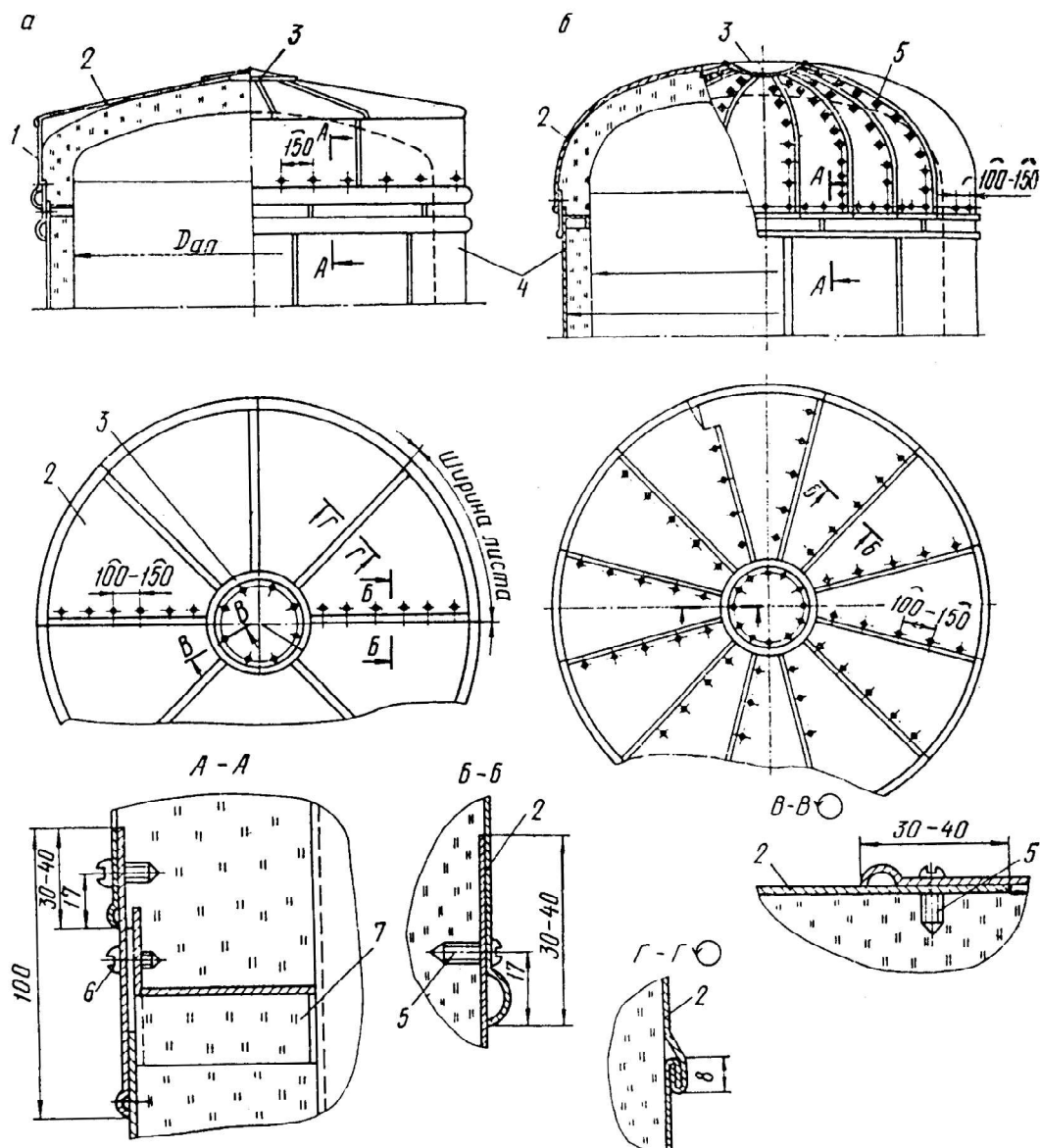


Рис. 3.24. Покриття ізоляції опуклих днищ апаратів металевими листами:
 а – покриття конічних і еліптичних днищ за діаметра апарата більше 1 м;
 б – покриття сферичних і еліптичних днищ значної кривизни; 1 – сітка;
 2 – сектор; 3 – накладка; 4 – покрив корпусу; 5 – самонарізний гвинт;
 6 – гвинт; 7 – розвантажувальний пристрій

На вершині покривного шару заізолюваного днища встановлюють кругову накладку діаметром не менше 300 мм, по периметру якої виконано зиг. Накладку закріплюють на покривному шарі самонарізними гвинтами.

Для ізолювання апаратів складної конфігурації та їх фасонних частин іноді використовують покривний шар з мокрої штукатурки (азбоцементної, азбозуритоцементної й піщано-цементної). Товщина штукатурного шару під час ізолювання обладнання м'якими волокнистими матеріалами не перевищує 20 мм. Шар наносять по металевій сітці № 12–1,2.

У разі виконання теплоізоляційного шару з м'яких матеріалів у штукатурному шарі влаштовують температурні шви у вигляді розривів завтовшки 10 мм, а в разі виконання зазначеного шару з жорстких матеріалів – по всій товщині теплоізоляційної конструкції. Розриви влаштовують біля розвантажувальних пристроїв через 3–4 м по висоті або довжині апарата. Температурні шви заповнюють теплоізоляційними шнурами або м'якими теплоізоляційними матеріалами й перекривають тонколистовим металом.

Покриви зі штукатурного шару фарбують (за умови розміщення обладнання на відкритому повітрі) або оклеюють (тканиною, склотканиною) і фарбують (за умови розміщення обладнання в приміщенні).

Фланцеві з'єднання апаратів можуть мати знімну й незнімну ізоляцію. Незнімна ізоляція виконується з тих самих матеріалів, що й ізоляція корпусу апарата, а знімна – зазвичай представляє собою знімний футляр або матрац, заповнений теплоізоляційним матеріалом. Матрац застосовують для фланцевих з'єднань значних діаметрів. Він складається з двох і більше окремих частин, кожна з яких виконана у вигляді оболонки з тканини або сітки, заповненої мінеральною або скляною ватою або виробами з них. У місцях стиків частини матрацу з'єднують дротом по гачках, а поверхню стягують бандажами. Кожух на матраці закріплюють самонарізними гвинтами (рис. 3.25).

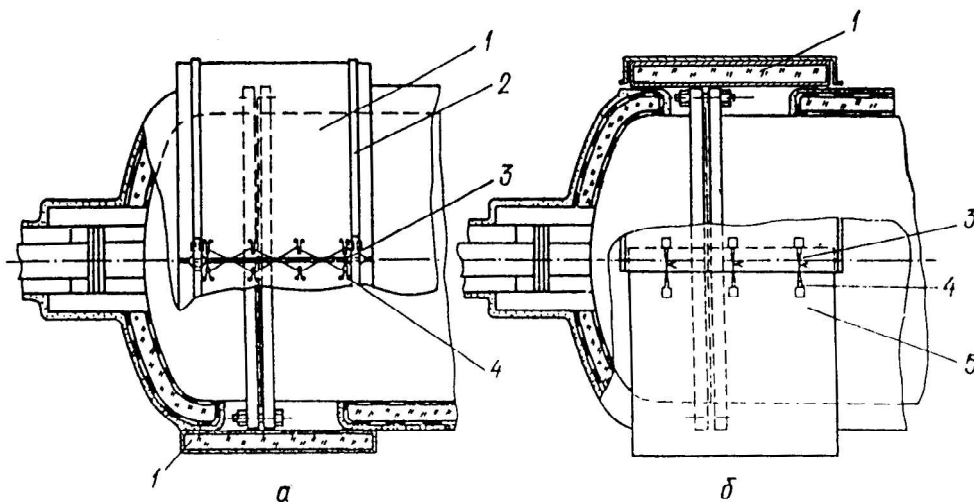


Рис. 3.25. Ізоляція фланцевих з'єднань горизонтальних апаратів матрацами в оболонках за умови розміщення в приміщенні (а) і на відкритому повітрі (б):
1 – теплоізоляційний матрац; 2 – бандаж; 3 – стяжка; 4 – гачок; 5 – кожух

Якщо апарати розташовані в приміщенні, матраци зазвичай використовують без захисного кожуха. У цьому випадку зовнішню поверхню матраца покривають тканиною й фарбують.

Знімні футляри складаються з двох півфутлярів з тонколистового металу, заповнених волокнистими теплоізоляційними матеріалами або виробами, прикріпленими до півфутляра шпінтами або штирями. Півфутляри закріплюють за допомогою замків, встановлених на поверхні півфутлярів, самонарізних гвинтів або бандажів, виготовлених з пакувальної стрічки.

Для ізолювання фланцевих з'єднань вертикальних апаратів мають передбачатися пристрої у вигляді лапок або скоб, які запобігають сповзанню футлярів з апарата.

Відстань від фланців до ізоляції корпусу має бути достатньою для встановлення болтів без руйнування ізоляції апарата.

Можливі варіанти ізолювання опор апаратів наведені на рис. 3.26.

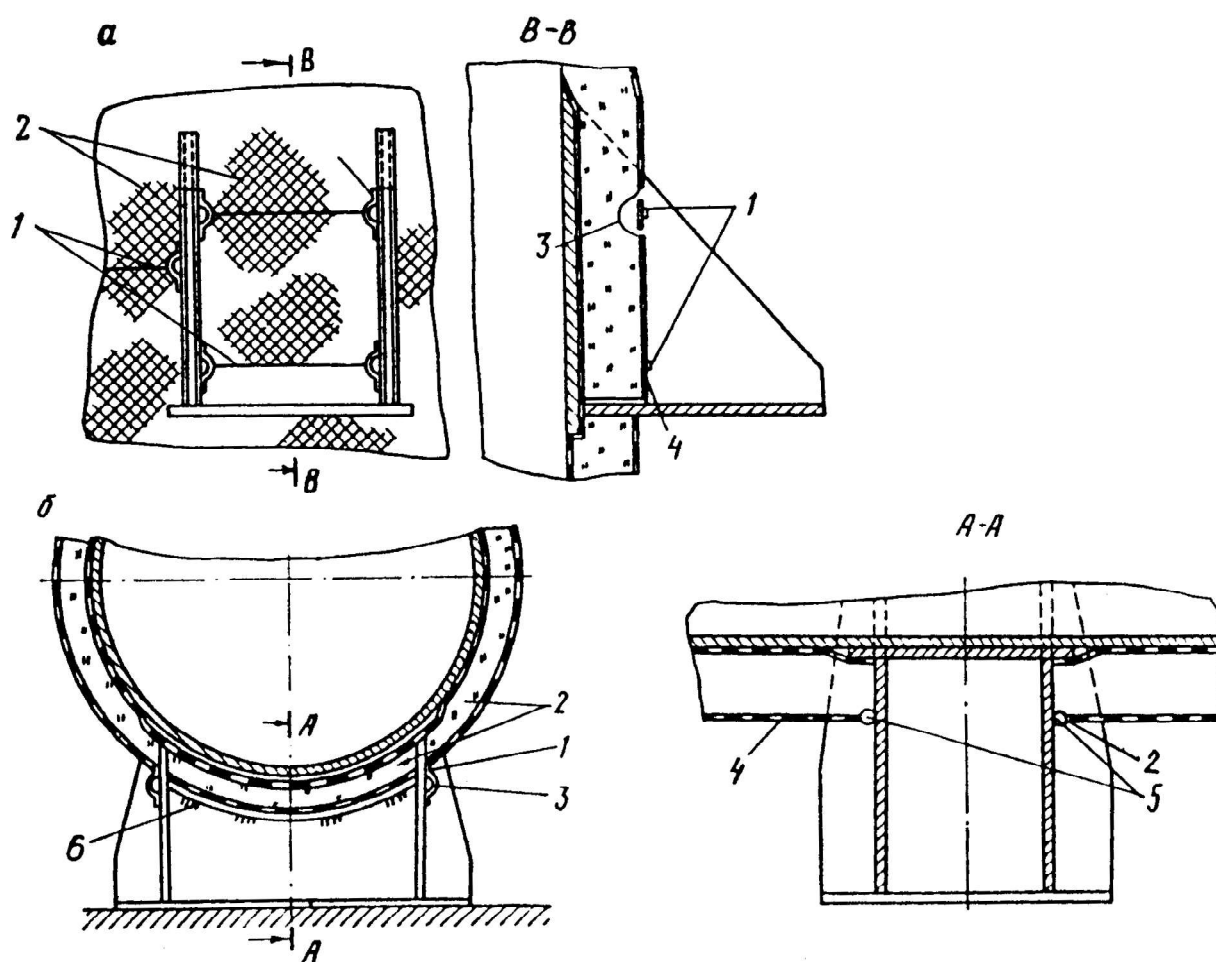


Рис. 3.26. Ізоляція біля опор вертикального (а) і горизонтального (а) апаратів:
1 – стяжка; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – скоба; 4 – сітка; 5 – струна; 6 – зварний шов

Колонні апарати зазвичай ізолюють мінераловатними матами в обкладці з металевої сітки або напівжорсткими плитами з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому й покривають металевими або склопластиковими листами. Розвантажувальні полиці виконують з металевих кутиків через кожні 3–4 м висоти корпусу колони. Якщо розміри кутиків менші за товщину ізоляції, їх нарощують до потрібного розміру, приварюючи до них опорні лапки зі штабової сталі 3×30 мм через 250 мм. Якщо ж розміри кутиків більші за товщину ізоляції, вони мають бути заізольовані (за умови температури речовини в колоні більше 200 °С).

У випадку, коли приварювання розвантажувальних полиць до корпусу неможливе або недоцільне, вони можуть бути виготовлені у вигляді стяжних бандажів, до яких приварені опорні лапки. Бандажі складаються з кількох елементів довжиною до 3 м, які стягуються болтовими з'єднаннями. На колонах заввишки до 4 м розвантажувальні полиці не улаштовують.

На заізольовані днища колон з юбочними опорами покривний шар зазвичай не встановлюють. Теплоізоляційний шар у цьому випадку покривають склотканиною, зверху якої закріплюють металеву сітку.

Люки, які мають температуру поверхні 60–200 °С ізолюють для запобігання обслуговуючого персоналу від опіків, а за температури понад 200 °С – для запобігання теплових втрат. Ізоляція має бути знімною.

Апарати з обертовими барабанами (барабанні сушарки, кристалізатори, кульові млини та ін.) зазвичай ізолюють виробами із штапельного скловолокна (матами або плитами на зв'язках) або жорсткими теплоізоляційними плитами (совелітовими, вапняково-кремнеземистими, перлітовими). Мати, крім закріплення штирями, додатково закріплюють сіткою з комітками 12×12 мм, яку по штирях зшивають дротом. За двошарової ізоляції сітка встановлюється на кожний з шарів. Жорсткі плити на обладнанні встановлюють обов'язково на теплоізоляційній мастиці (совелітовій або азбозуритовій) із заповненням швів між плитами тією ж мастикою. Покривним шаром може бути азбоцементна штукатурка, яку оклеюють бавовняною тканиною й фарбують, або металевий кожух.

Для ізолювання насосів застосовують вироби із штапельного скловолокна й мінеральної вати (м'які й напівжорсткі мати й плити), жорсткі теплоізоляційні плити (совелітові) або мастику із совеліту або азбозуриту.

Із застосуванням виробів з мінеральної вати або скловолокна використовують знімні футляри з оцинкованої сталі або алюмінієвого листа. До футлярів з внутрішнього боку штирями прикріплюють теплоізоляційні вироби. Теплоізоляційні плити застосовують для ізолювання насосів простої конфігурації. Їх укладають на совелітовій мастиці із заповненням швів тією ж мастикою й додатково між дротяним каркасом. Покривний шар виконують з азбоцементної штукатурки, обклеєної бавовняною тканиною, яку потім фарбують.

Таблиця 3.5. Застосування теплоізоляційних матеріалів для ізолювання об'єктів з температурою поверхні 20 °С і вище

Матеріал	Трубопроводи				Обладнання						Арматура		
	до 57 мм вкл.	25– 219 мм	210 мм і більше	530 мм і більше	Резерву- ари і схо- вища	Тепло- обмінні- ки	Ємності горизон- тальні й вертика- льні	Колонні апарати	Газоходи	Насоси, димотяги	фланцева	приварна	муфтова
Мати мінераловатні прошивні безобклад- кові	+	+				+	+					+	+
Мати мінераловатні прошивні в обкладках			+	+	+	+	+	+	+		+	+	
Плити мінераловатні на синтетичному зв'язуючому марок 35 і 50			+	+		+	+	+			+	+	
Те саме, марок 75 і 100				+	+	+	+	+	+				
Те саме, марки 125					+		+	+	+				
Плити зі скляного штапельного волокна марок П20 і П30				+	+	+	+	+					
Циліндри мінераловатні або скловолокнисті на синтетичному зв'язуючому	+	+									+	+	+
Вироби мінераловатні з гофрованою стру- ктурою марки 75			+	+		+	+	+					
Те саме, марок 100 і 125				+		+	+	+					
Мати зі скляного штапельного волокна		+	+			+					+	+	+
Мати з базальтового супертонкого волокна	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+
Мати з супертонкого скловолокна без зв'язуючого	+	+	+	+							+	+	+
Полотно холстопршивне ПСХ-Т або гол- копробивне ИПС-Т	+											+	+
Пінополіуретан заливальний або напилю- ваний	+	+	+	+	+	+	+	+					
Шнури азбестові, базальтові, мінераловат- ні	+											+	+

Таблиця 3.5. Застосування теплоізоляційних матеріалів для ізолювання об'єктів з температурою поверхні 19 °С і нижче

Матеріал	Трубопроводи				Обладнання						Арматура		
	до 57 мм вкл.	25– 219 мм	210мм і більше	530 мм і більше	Резерву- ари і схо- вища	Тепло- обмінні- ки	Ємності горизон- тальні й вертика- льні	Колонні апарати	Повітро- води	Кондиці- онери	фланцева	приварна	муфтова
Плити мінераловатні на синтетичному зв'язуючому марок 50 і 75			+	+		+	+	+			+	+	
Те саме, марок 100 і 125				+	+	+	+	+	+				
Циліндри мінераловатні або скловолокнисті на синтетичному зв'язуючому	+	+									+	+	+
Вироби мінераловатні з гофрованою стру- ктурою марки 76			+	+		+	+	+					
Те саме, марки 100	+			+		+	+	+					
Мати зі скляного штапельного волокна	+	+	+			+					+	+	+
Плити зі скляного штапельного волокна				+	+		+	+					
Мати з базальтового супертонкого волокна	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Мати з супертонкого скловолокна без зв'язуючого	+	+	+	+						+	+	+	+
Полотно холстопршивне ПСХ-Т або гол- копробивне ИПС-Т	+											+	+
Пінополіуретан заливальний або напилу- ваний	+	+	+	+	+	+	+	+					
Шкаралупи з пінополістиролу ПСБ-С	+	+							+		+	+	+
Плити з пінополістиролу ПСБ-С				+	+		+	+		+			
Плити з екструдованого пінополістиролу				+	+		+	+		+			
Перліт (засипка)					+		+	+					

3.4. Теплоізоляційні конструкції об'єктів з речовинами, які мають негативну температуру

Теплоізоляційні конструкції трубопроводів і обладнання, які містять речовини з негативними температурами (19°C і менше), крім основних вимог, що пред'являються до теплової ізоляції, повинні запобігати корозії поверхонь заізолюваних об'єктів і бути біостійкими (тобто не сприяти розвитку мікроорганізмів в теплоізоляційному шарі).

Усі зовнішні металеві елементи ізолюваного об'єкта повинні мати протикорозійний покрив. Для укладання теплоізоляційного шару насухо як протикорозійний покрив застосовують спеціальні ґрунтовки, бітуми або бітумні лаки. Усі кріпильні вироби, що стикаються з холодними поверхнями заізолюваного об'єкта, не повинні виходити за межі теплоізоляційного шару.

Зазвичай конструкція об'єктів з негативними температурами речовин складається з таких елементів: теплоізоляційний шар, армувальні й кріпильні вироби, пароізоляційний шар, покривний шар. В окремих випадках два останні шари можуть бути відсутні.

Матеріали для теплоізоляційного шару наведені в табл. А.1.

Товщина теплоізоляційного шару має виключати можливість досягання його поверхнею температури, що дорівнює «точці роси», тобто конденсації на поверхні шару вологи з оточуючого середовища.

Насухо укладаються обгорткові матеріали з мінеральної та скляної вати (мати, м'які й напівжорсткі плити), а також засипні матеріали (мінеральна та скляна вата, перлітовий пісок), циліндри, півциліндри.

На клеях і мастиках укладають жорсткі плити, сегменти, вирізані з таких плит, обгорткові матеріали й формовані вироби з пінопластів.

Пароізоляційний шар запобігає прониканню водяних парів з оточуючого середовища в теплоізоляційний шар. Водяні пари, проникаючи в теплоізоляційний шар, можуть зволожити й погіршити його теплоізоляційні властивості й сприяти розвитку шкідливих мікроорганізмів.

Найбільш розповсюдженими пароізоляційними матеріалами є рулонні матеріали (див. табл. 2.1), які зазвичай укладаються на спеціальних мастиках або клеях. Також застосовуються обмазувальні пароізоляційні матеріали (бітум, бітумні мастики).

Якщо рулонний пароізоляційний матеріал укладається насухо, шви мають бути проклеєні липкою поліетиленовою або полівінілхлоридною стрічкою.

Для ізолювання об'єктів з температурою речовин менше мінус 100°C потрібно застосовувати пароізоляційні матеріали з лінійною усадкою не більше 1,5 %.

Для ізолювання об'єктів, які працюють за змінного температурного ре-

жиму (від негативної до позитивної температури), потреба в улаштуванні пароізоляційного шару залежить від умов експлуатації. Якщо під час експлуатації об'єкта волога, що потрапляє в теплоізоляційну конструкцію за час його роботи за негативної температури, випаровується, пароізоляційний шар зазвичай не влаштовують.

Покривний шар для об'єктів з негативними температурами речовин повинні мати більшу механічну міцність і більший опір паропроникності. Зазвичай для цього застосовують такі самі матеріали, як і для об'єктів з позитивними температурами речовин. Найбільш ефективним є покрови зі зварених металевих кожухів з наступним фарбуванням. Проте такі конструкції мають значну вартість і використовуються для відповідальних об'єктів.

Із застосуванням для улаштування покривного шару листових матеріалів, які не зварюють між собою, шви покриву проклеюють липкою стрічкою завширшки не менше 50 мм. Для захисту стрічки від старіння й механічних пошкоджень до чотирьох разів її покривають оливною або іншою фарбою, а для запобігання пошкодженню пароізоляційного шару самонарізними гвинтами в разі скріплення між собою елементів покривного шару під останнім зазвичай розміщують проміжний захисний шар з рулонних матеріалів, наприклад, скловолокна.

Покривні штукатурні шари на ізолюваному об'єкті улаштовують як і для об'єктів з позитивними температурами речовин.

4. ПРИСТРОЇ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ СТАЛЕВИХ ПОСУДИН ТА АПАРАТІВ

4.1. Загальні відомості

Пристрої для кріплення зовнішньої теплової ізоляції та їх розміщення на сталевих стаціонарних посудинах та апаратах (далі – пристрої) з температурою речовини в об'єктах від мінус 100 до 600 °С включно, діаметром не менше 500 мм, з криволінійними або плоскими поверхнями, що використовуються в хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній, енергетичній та інших галузях промисловості, повинні відповідати ГОСТ 17314–81. Указаний стандарт не розповсюджується на пристрої, що використовуються для резервуарів, які виготовляються способом рулонування, і сферичних резервуарів.

4.2. Конструкція й розміри пристроїв

Залежно від типу ізоляції й способу її кріплення пристрої виготовляють у трьох виконаннях:

- 1) для кріплення одинарним штирем ізоляції завтовшки до 100 мм;
- 2) для кріплення подвійним штирем ізоляції завтовшки до 260 мм;
- 3) для кріплення підвіскою повнозбірних теплоізоляційних конструкцій завтовшки від 40 до 120 мм.

Конструкції пристроїв та їх використання мають відповідати вказаним на рис. 4.1–4.3 і в табл. 4.1.

Приклад умовного позначення пристрою виконання 1 зі скобою С1 для кріплення одинарним штирем Ш1 ізоляції завтовшки до 60 мм:

Устройство С1–Ш1/60 ГОСТ 17314–81.

Те саме, із втулкою В1:

Устройство В1–Ш1/60 ГОСТ 17314–81.

Приклад умовного позначення пристрою виконання 2 зі скобою С1 для кріплення одинарним штирем Ш2 ізоляції завтовшки до 160 мм:

Устройство С1–Ш2/160 ГОСТ 17314–81.

Те саме, із втулкою В1:

Устройство В1–Ш2/160 ГОСТ 17314–81.

Приклад умовного позначення пристрою виконання 3 зі скобою С1 для кріплення підвіскою П1 повнозбірних теплоізоляційних конструкцій завтовшки від 40 до 120 мм:

Устройство С1–П1 ГОСТ 17314–81.

Те саме, із втулкою В1:

Устройство В1–П1 ГОСТ 17314–81.

Приклад умовного позначення пристрою виконання 3 зі скобою С1 для кріплення підвіскою П2 повнозбірних теплоізоляційних конструкцій завтовшки від 40 до 120 мм:

Устройство С1–П2 ГОСТ 17314–81.

Те саме, із втулкою В1:

Устройство В1–П2 ГОСТ 17314–81.

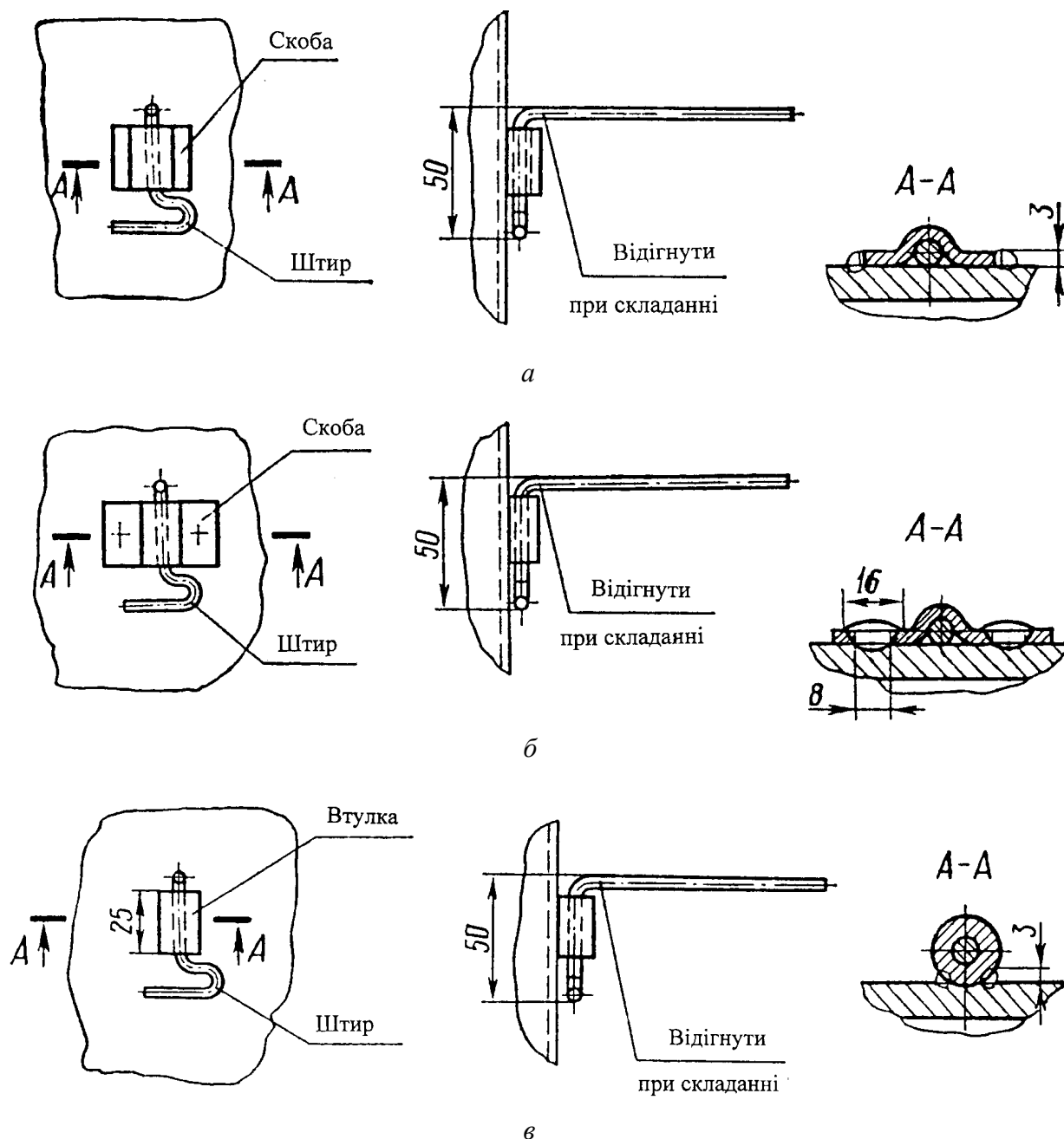


Рис. 4.1. Пристрої виконання 1:

- а – пристрій, що складається зі скоби С1 і одинарного штиря Ш1;
- б – пристрій, що складається зі скоби С2 і одинарного штиря Ш1;
- в – пристрій, що складається із втулки В1 і одинарного штиря Ш1

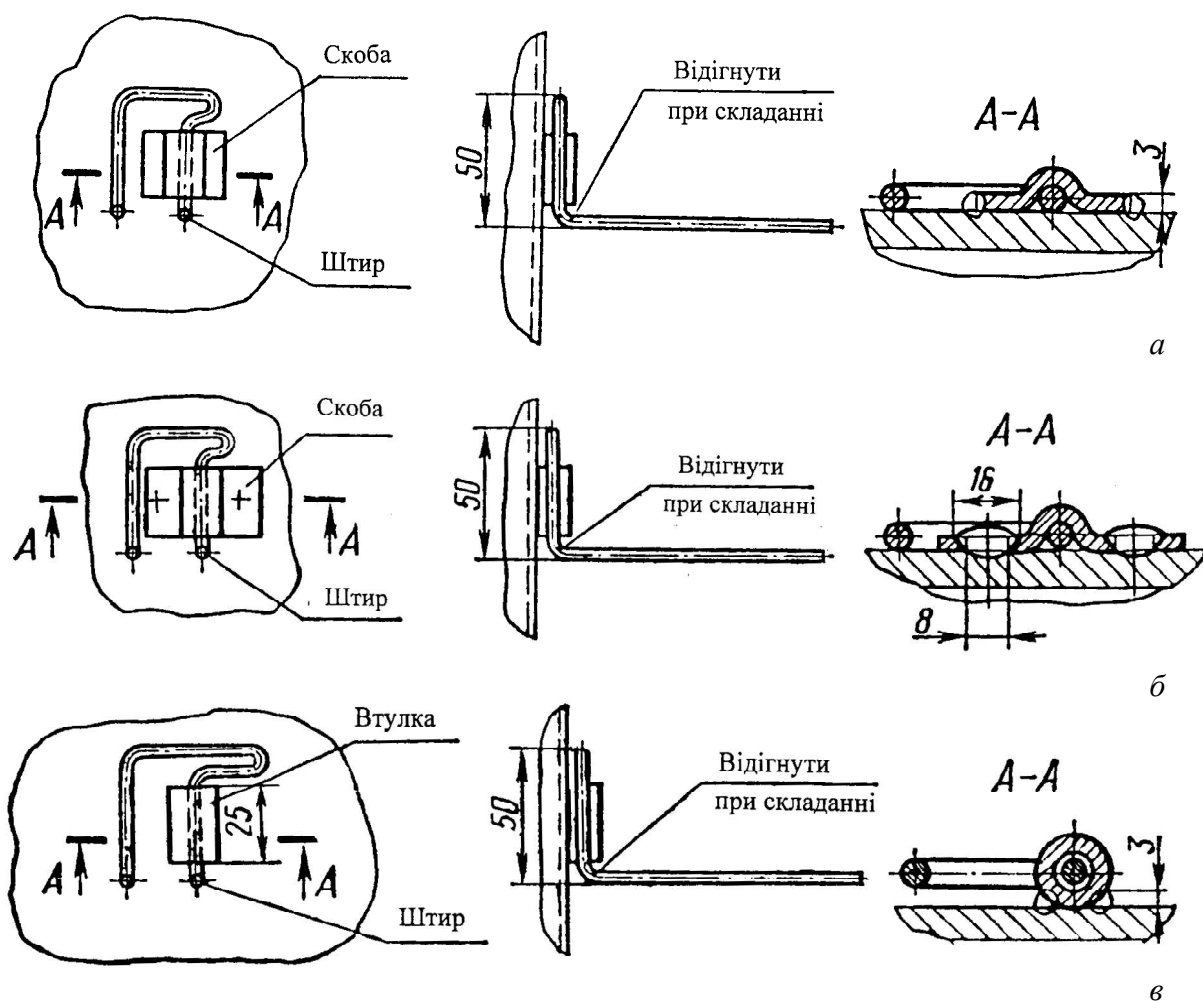


Рис. 4.2. Пристрої виконання 2: а – пристрій, що складається зі скоби С1 і подвійного штиря Ш2; б – пристрій, що складається зі скоби С2 і подвійного штиря Ш2; в – пристрій, що складається із втулки В1 і подвійного штиря Ш2

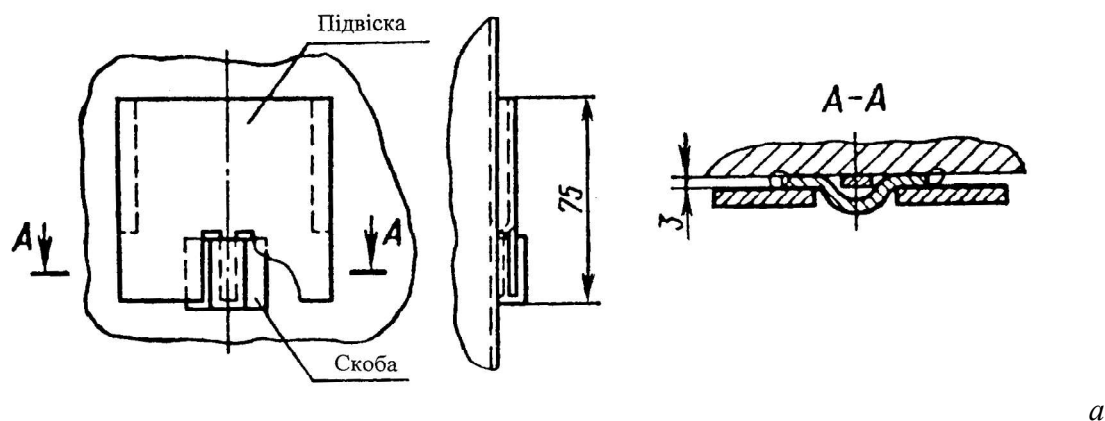


Рис. 4.3. Пристрої виконання 3: а – пристрій, що складається зі скоби С1 і підвіски П1; б – пристрій, що складається зі скоби С2 і підвіски П1; в – пристрій, що складається із втулки В1 і підвіски П1; г – пристрій, що складається зі скоби С1 і підвіски П2; д – пристрій, що складається зі скоби С2 і підвіски П2; е – пристрій, що складається із втулки В1 і підвіски П2

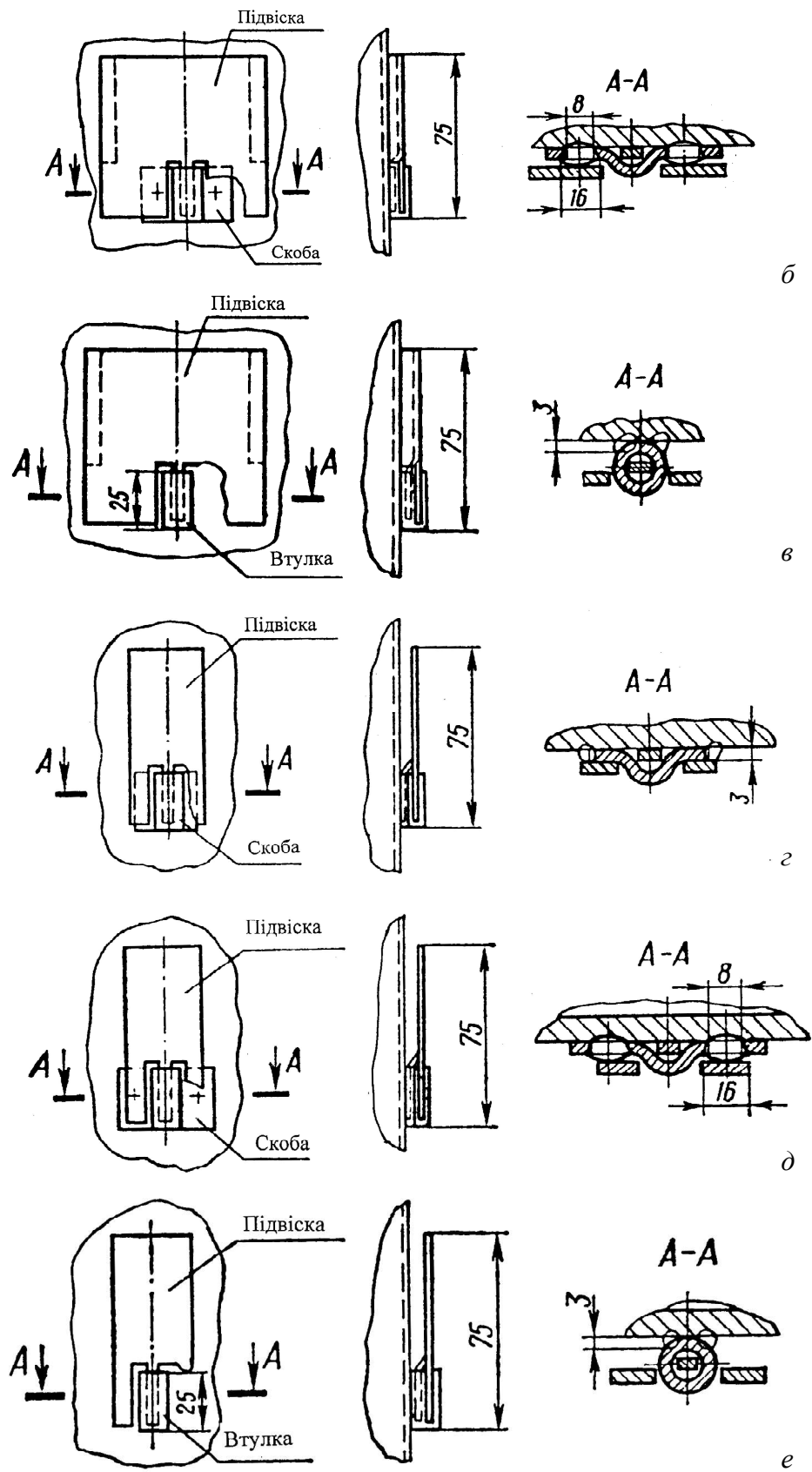


Рис. 4.3. Закінчення. (Див. також с. 56)

Таблиця 4.1. Умови використання пристроїв

Позначення пристрою	Використання		Маса, кг, не більше
	конструкція теплоізоляції й гранична товщина	товщина теплоізоляції, мм	
C1–Ш1/60 C2–Ш1/60 B1–Ш1/60	Для кріплення теплоізоляції з м'яких і напівжорстких виробів завтовшки до 100 мм	До 60	0,046 0,053 0,045
C1–Ш1/100 C2–Ш1/100 B1–Ш1/100		Понад 60 до 100 включно	0,052 0,059 0,051
C1–Ш2/50 C2–Ш2/50 B1–Ш2/50		До 50	0,069 0,076 0,068
C1–Ш2/100 C2–Ш2/100 B1–Ш2/100		Понад 50 до 100	0,085 0,092 0,084
C1–Ш2/160 C2–Ш2/160 B1–Ш2/160		Понад 100 до 160 включно	0,103 0,110 0,102
C1–Ш2/200 C2–Ш2/200 B1–Ш2/200		Понад 160 до 200 включно	0,116 0,123 0,115
C1–Ш2/260 C2–Ш2/260 B1–Ш2/260	Для кріплення теплоізоляції з жорстких виробів завтовшки до 100 мм	Понад 200 до 260 включно	0,138 0,146 0,137
C1–П1 C2–П1 B1–П1		Понад 40 до 120 включно	0,159 0,166 0,158
C1–П2 C2–П2 B1–П2			0,065 0,072 0,064

Примітка: Вибір виконання підвіски залежить від виду кріпильної деталі на повнозбірній теплоізоляційній конструкції/

Для пристроїв у виконанні 1 (рис. 4.1,б), виконанні 2 (рис. 4.2,в) і виконанні 3 (рис. 4.3,в і 4.3,е) допускається використовувати укорочену втулку, що приварюється електричним дугоконтактним зварюванням (див. примітку до рис. 4.5; при цьому зварний шов втулки повинен витримувати зусилля на зріз не менше 1200 Н).

Пристрої для кріплення зовнішньої теплової ізоляції складаються з приварних і знімних деталей, які є частиною апарата.

Конструкція, розміри та маса приварних деталей мають відповідати вказаним на рис. 4.4–4.5 і в табл. 4.2, а знімних деталей – на рис. 4.6–4.7 і в табл. 4.3 і 4.4.

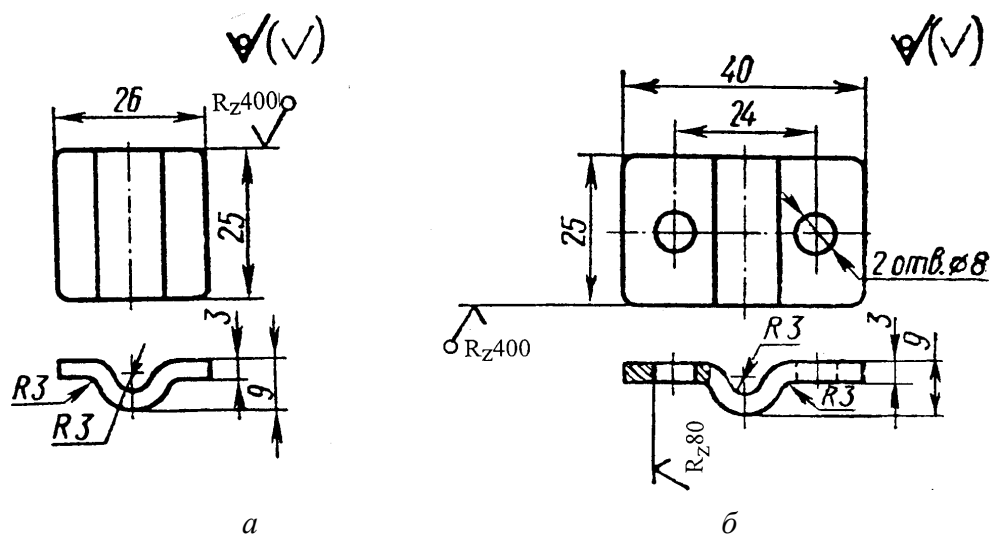


Рис. 4.4. Конструкція приварних скоб С1 (а) і С2 (б)

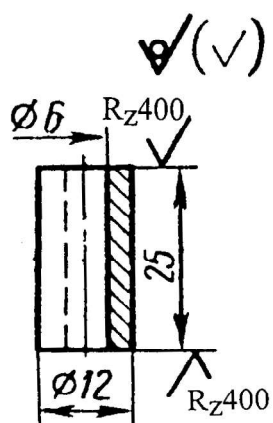


Рис. 4.5. Конструкція приварної втулки В1
(допускається використовувати укорочену втулку (В2)
завдовжки не менше 14 мм (без зміни решти розмірів))

Таблиця 4.2. Характеристики приварних скоб С1 і С2

Позначення скоби	Довжина розгортки, мм, не більше	Маса, кг, не більше
С1	31	0,018
С2	45	0,026

Приклад умовного позначення скоби С1:

Скоба С1 ГОСТ 17314–81.

Те саме, скоби С2:

Скоба С2 ГОСТ 17314–81.

Приклад умовного позначення втулки В1:

Втулка В1 ГОСТ 17314–81.

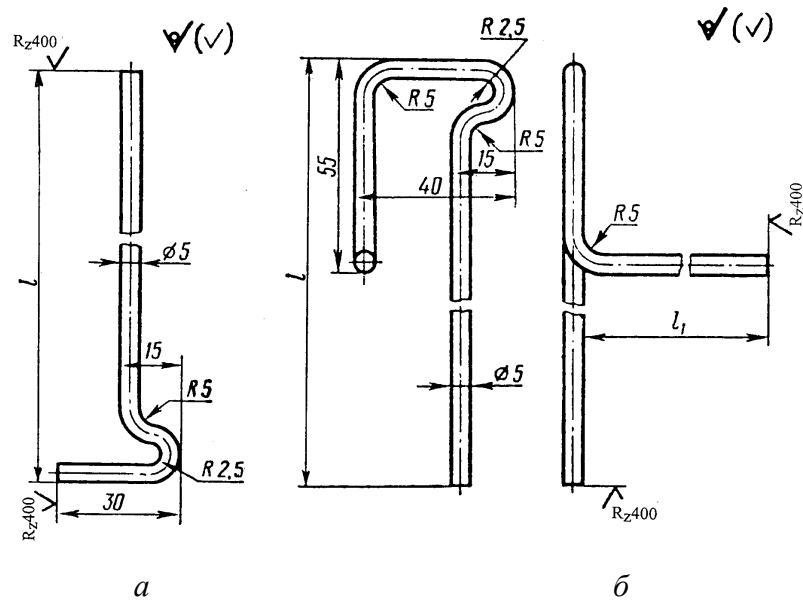


Рис. 4.6. Конструкція одинарного Ш1 (а) і подвійного Ш2 (б) знімних штирів

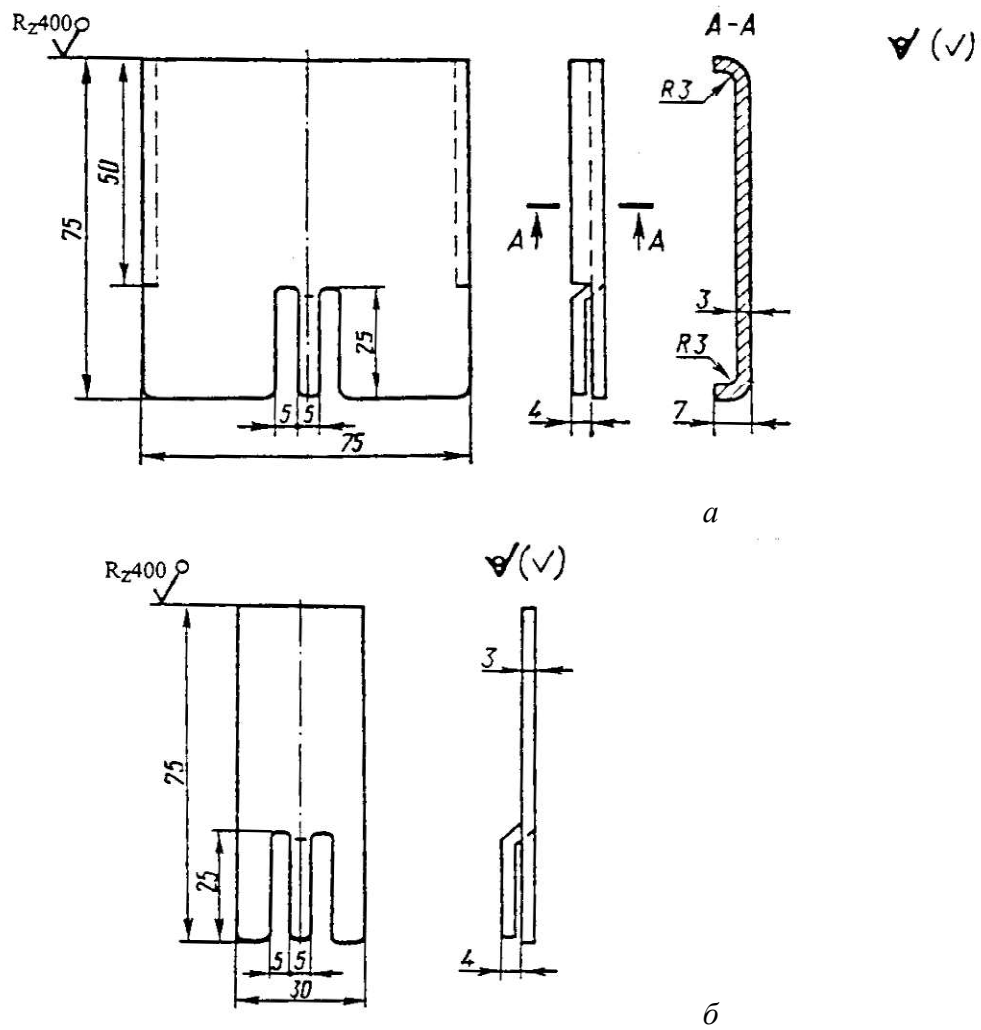


Рис. 4.7. Конструкція знімних підвісок П1 (а) і П2 (б)

Таблиця 4.3. Характеристики одинарного штиря Ш1

Позначення штиря	Довжина <i>l</i> , мм	Довжина розвертки, мм, не більше	Маса, кг, не більше
Ш1/60	140	170	0,026
Ш1/100	180	210	0,032

Приклад умовного позначення одинарного штиря Ш1 для ізоляції за-
втовшки до 60 мм:

Штирь Ш1/60 ГОСТ 17314–81.

Приклад умовного позначення подвійного штиря Ш2 для ізоляції за-
втовшки до 50 мм:

Штирь Ш2/50 ГОСТ 17314–81.

Приклад умовного позначення підвіски П1:

Подвеска П1 ГОСТ 17314–81.

Те саме, підвіски П2:

Подвеска П2 ГОСТ 17314–81.

4.3. Технічні вимоги до пристроїв

Скоби і втулки приварюють до поверхні посудин та апаратів на підпри-
ємстві-виробникові обладнання. Знімні деталі встановлюють під час монтажу
теплової ізоляції.

Матеріал приварних деталей вибирають залежно від матеріалу корпусів
посудин та апаратів, до яких їх приварюють. Матеріал знімних деталей: оди-
нарний штир, подвійний штир – сталевий низьковуглецевий дріт загального
призначення 5-0-4 згідно з ГОСТ 3282–74; матеріал підвіски – сталь марки
Ст3 ДСТУ 2651:2005 (ГОСТ 380–2005).

За наявності спеціальних вимог захисні покриття знімних деталей виби-
рають згідно з ГОСТ 9.303–84.

Допускається на корпуси посудин та апаратів зі сталей аустенітного класу
(наприклад, сталей марок 12Х14Г14Н4Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т,
12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, 08Х17Н15М3Т та ін.) приварювати деталі з вуглеце-
вої сталі.

Зварний шов втулок, що приварюються, має витримувати зусилля на
зріз не менше 1200 Н.

На приварних і знімних деталях не повинно бути гострих кромek і роз-
шарувань металу, а торці вказаних деталей повинні бути під кутом 90° до осі
деталі.

На приварних і знімних деталях не допускаються сліди оброблення та
вм'ятини, що виходять за границі відхилень, установлених стандартами на ві-
дповідний сортамент.

Граничні відхилення довжини знімних деталей – за класом «дуже начорний» ГОСТ 25670–83, решта розмірів, а також граничні відхилення розмірів приварних деталей – $\pm \frac{IT15}{2}$ згідно з ГОСТ 25347–82.

Місця розміщення приварних деталей на корпусах посудин та апаратів мають відповідати вказаним на робочих креслениках. Порядок розміщення приварних деталей дано в п. 4.3.

Допуск перпендикулярності – граничне відхилення осі приварної деталі на вертикальних апаратах від вертикалі, на горизонтальних апаратах від горизонталі (перекіс) – 2 мм на повній довжині деталі. Граничне відхилення осей приварних деталей від вертикалі й горизонталі – 2 мм.

Примітка: На пристроях для стропування апарата (монтажних штучерах та ін.) установлювати приварні деталі не допускається.

Приварні деталі всередині опорних обичайок посудин та апаратів розміщують, відступивши від шва приварки обичайки до корпуса посудини (апарата), на відстані, вказаній у п. 4.3.

У разі потрапляння приварної деталі на зварний шов корпуса посудини або апарата допускається змінювати крок приварювання деталі, зміщаючи від краю зварного шва на відстань, рівну товщині стінки посудини або апарату. У цьому випадку відстань між приварними деталями, що розташовані по обидва боки від деталі, що зміщено, має бути рівною сумі двох заданих кроків.

Не допускається збільшувати крок замикальної ланки приварних деталей більше, ніж на 0,3 кроку.

Під час ізолювання окремих частин посудин та апаратів допускається розміщати приварні деталі тільки на поверхні, що підлягає ізолюванню.

Види кріплення ізоляції подано в п. 4.4.

Пакування знімних деталей і маркування тари – згідно з ГОСТ 18160–72.

Для кантування апаратів на роликівих опорах допускається в двох місцях установлювати приварні деталі на відстані до 1000 мм по довжині апарата.

4.4. Вказівки щодо розміщення приварних деталей на посудинах і апаратах

Приварні деталі на посудинах та апаратах розміщують:

1) на вертикальних об'єктах: у вертикальному і горизонтальному напрямках з кроком 500 мм, відступивши від анкерних болтів фланцевих з'єднань або зварних з'єднань чи зварних швів, які з'єднують днища (кришки) і корпуси посудин та апаратів, на відстані, вказаній на рис. 4.8, 4.10;

2) на горизонтальних об'єктах:

а) у горизонтальному напрямку з кроком 500 мм, відступивши від фланцевих з'єднань або зварних швів, які з'єднують днища (кришки) і корпуси посудин та апаратів, на відстані, вказаній на рис. 4.9;

б) у вертикальному напрямку: на верхній половині об'єкта з кроком 500 мм, а на нижній – з кроком 250 мм; відлік кроку здійснюють від площини горизонтального діаметра;

3) на днищах і кришках – відповідно до рис. 4.9–4.11 (на конічних днищах і кришках за прикладом рис. 4.9 і 4.10);

4) на опорах апаратів – з кроком 500 мм – відповідно до рис. 4.8. і 4.9.

Для пристрою з підвісками допускається за узгодженням між виробником і споживачем змінювати крок розміщення приварних деталей на значення, кратне 500 мм.

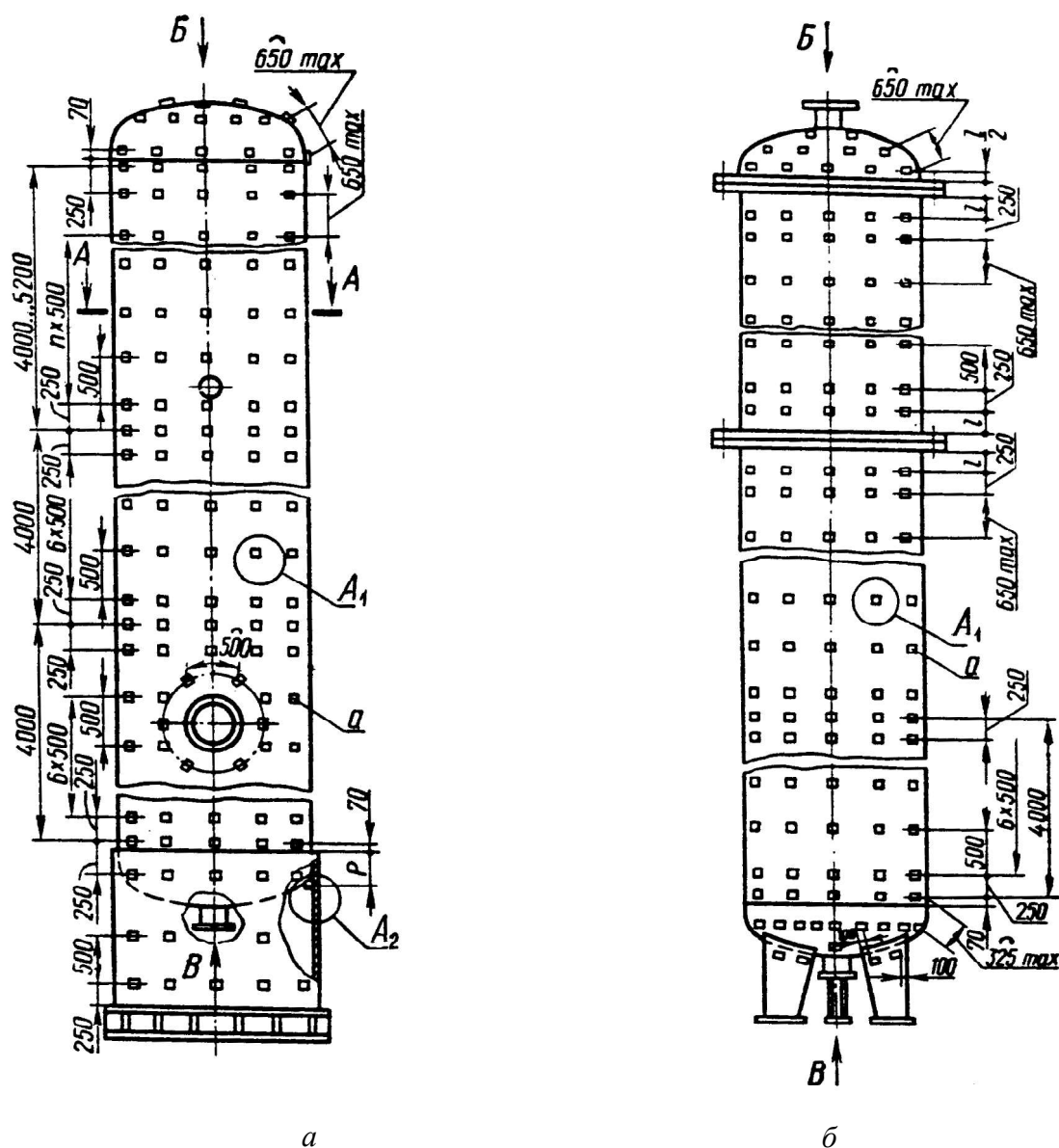


Рис. 4.8. Схема розміщення приварних деталей для кріплення теплової ізоляції на вертикальних посудинах та апаратах з опорними обичайками (а), опорними стояками (б) і опорними лапами (в): l – довжина болта плюс 50 мм; «а» – приварна деталь

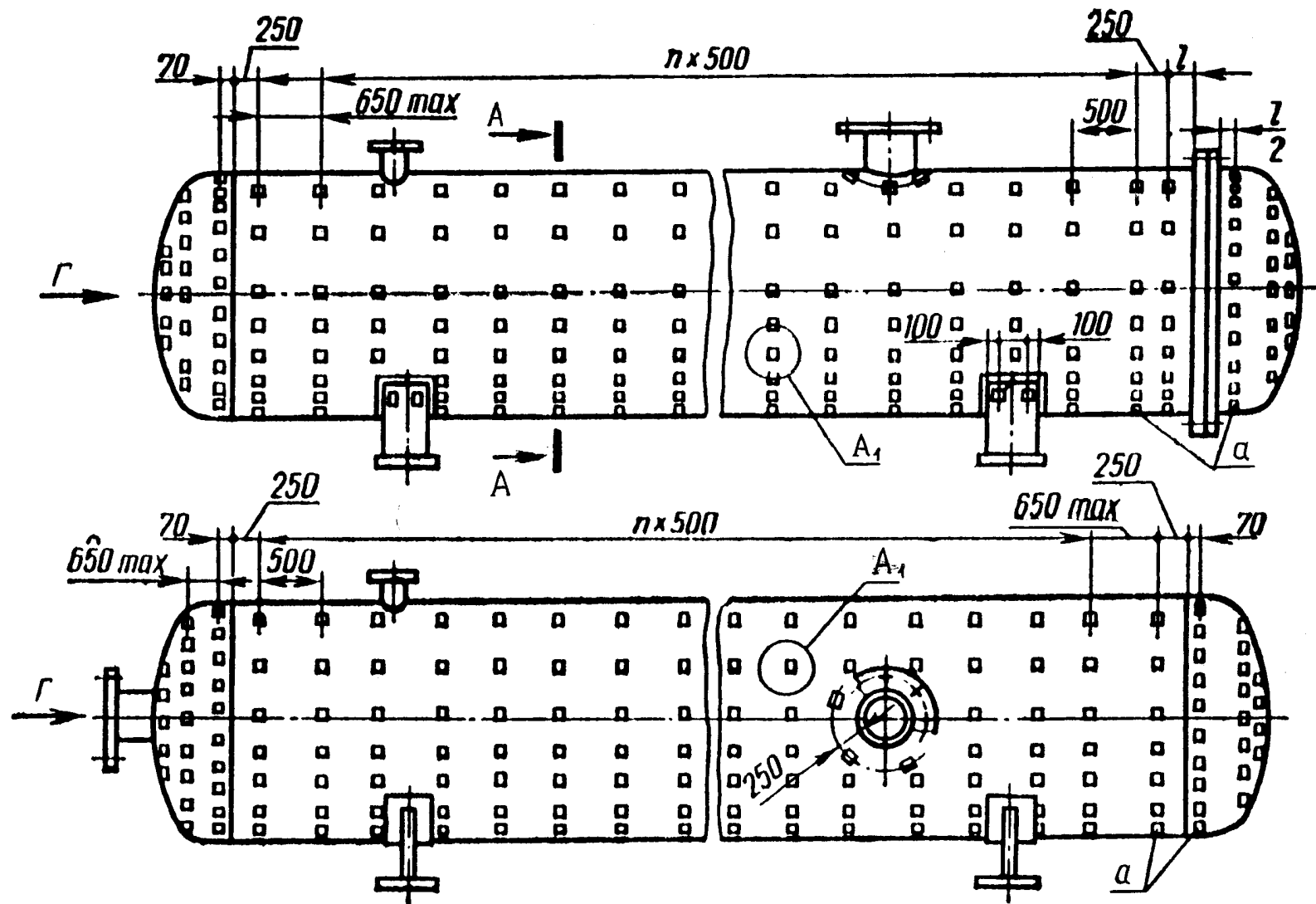


Рис.4.9. Схема розміщення приварних деталей для кріплення теплової ізоляції на горизонтальних апаратах:
 l – довжина болта плюс 20 мм;; D_{an} – зовнішній діаметр апарата, мм; «а» – приварна деталь

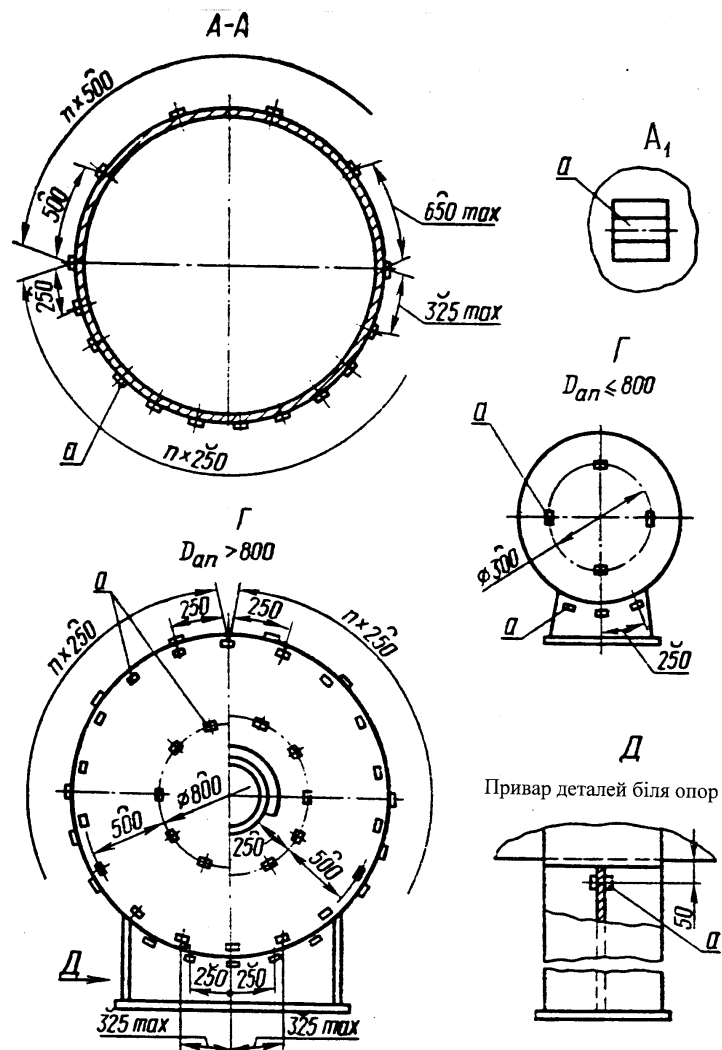
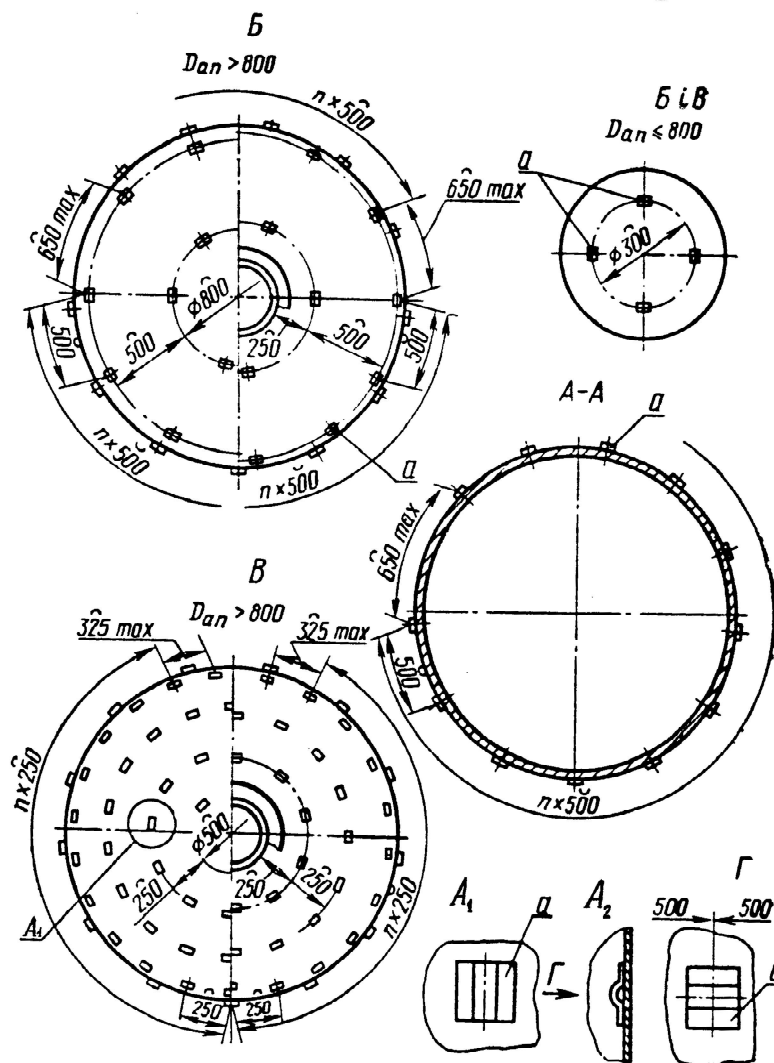


Рис. 4.9. Закінчення. (Див. також с. 65)

Рис. 4.10. Схема розміщення приварних деталей для кріплення теплової ізоляції на днищах апаратів: «а» – приварна деталь; D_{an} – зовнішній діаметр апарата, мм

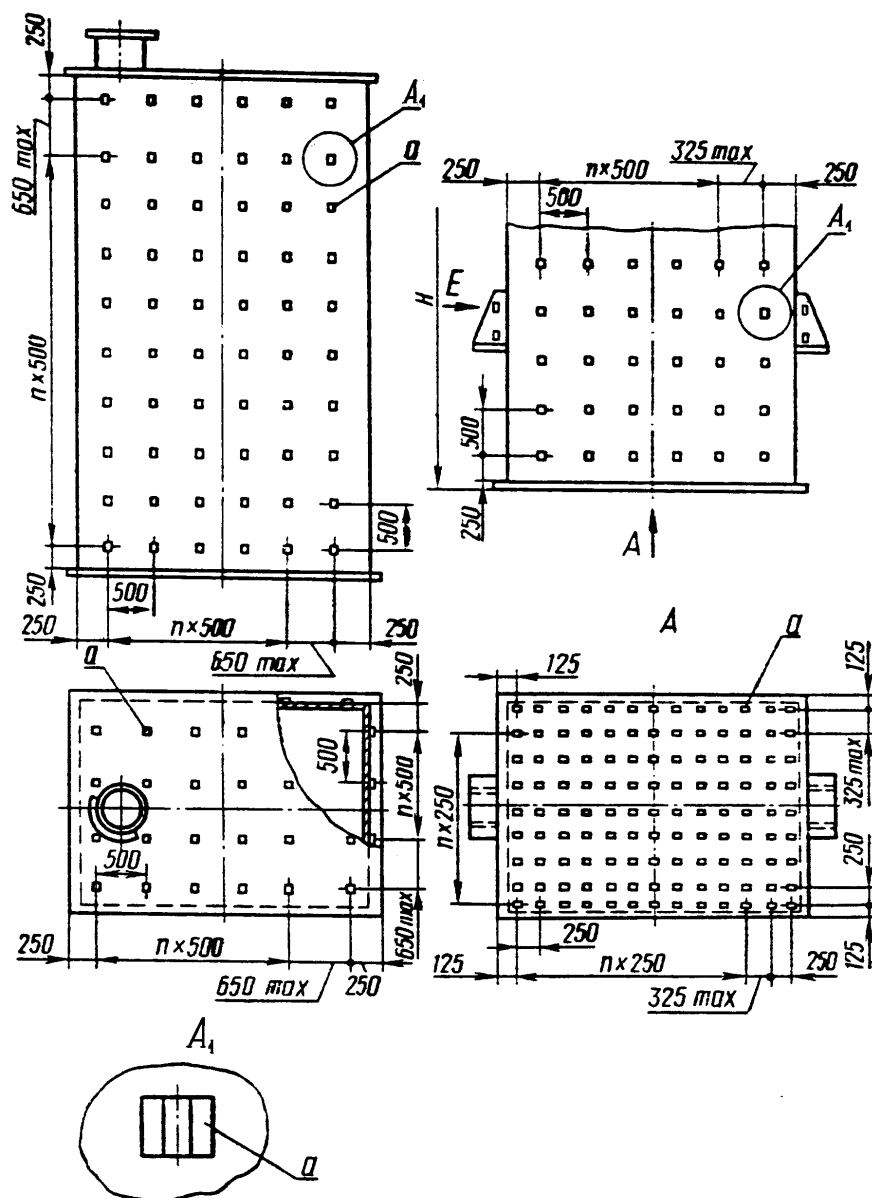


Рис. 4.11. Схема розміщення приварних деталей для кріплення теплової ізоляції на апаратах прямокутного поперечного перерізу: «а» – приварна деталь

4.5. Види кріплення теплової ізоляції

Теплову ізоляцію у вигляді виробу з м'яких або напівжорстких волокнистих матеріалів (мінеральної вати, вати із скляного волокна, азбесту) на в'язках або в обкладках за товщини шару до 100 мм кріплять пристроєм виконання 1 (рис. 4.12); за товщини шару понад 100 до 260 мм включно – пристроєм виконання 2 (рис. 4.15).

Теплову ізоляцію у вигляді виробу з жорстких матеріалів в один і два шари (плит, сегментів та ін.) кріплять пристроєм виконання 2 (рис. 4.13 і 4.14).

Теплову ізоляцію у вигляді виробу з повнозбірних теплоізоляційних конструкцій кріплять пристроєм виконання 3 (рис. 4.16 і 4.17).

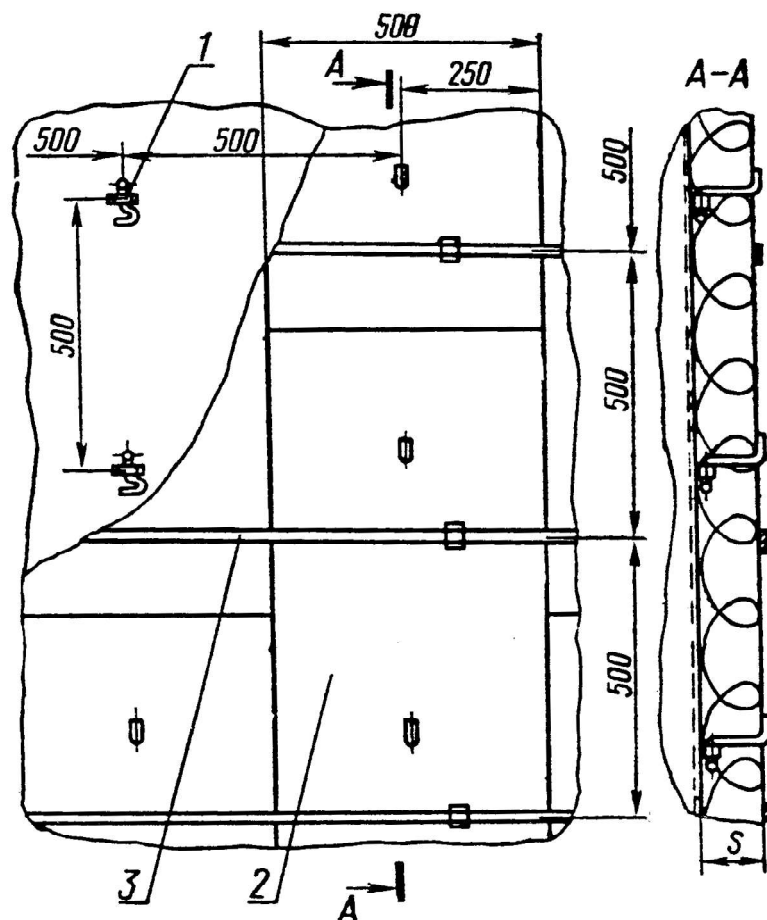


Рис. 4.12. Пристрій виконання 1 кріплення одношарової ізоляції у вигляді виробу з жорстких матеріалів: 1 – пристрій для кріплення ізоляції зі штирем Ш1; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – бандаж або кільце

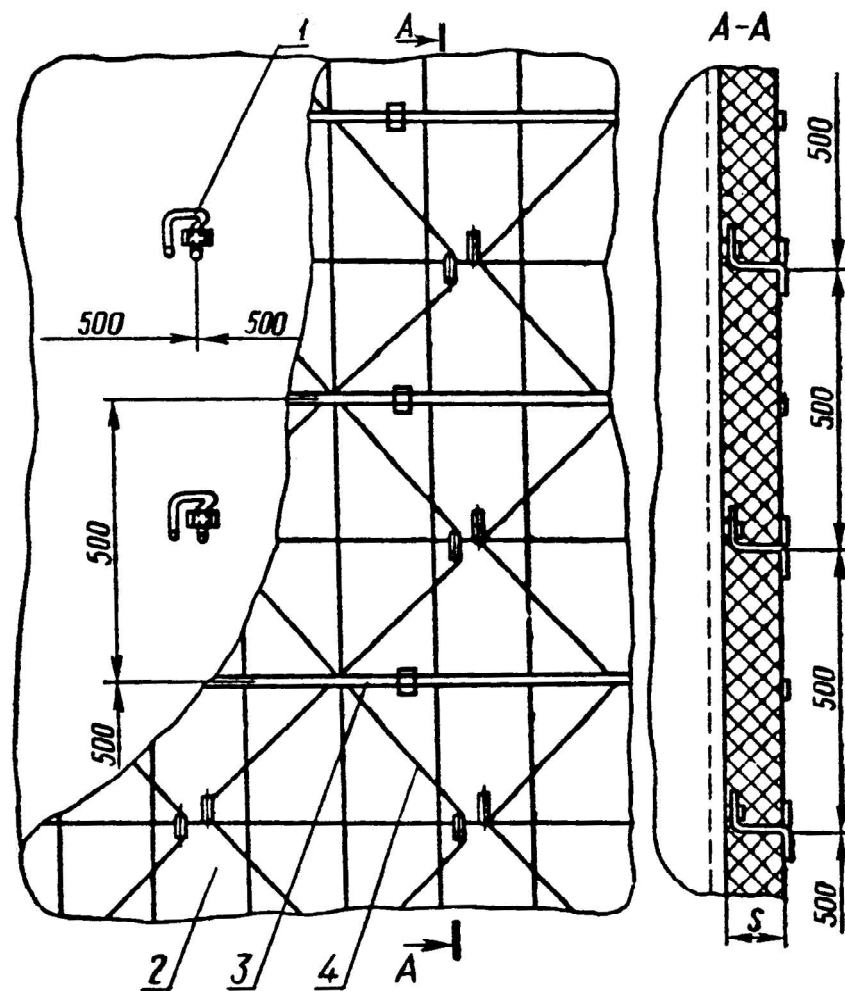


Рис. 4.13. Пристрій виконання 2 кріплення одношарової ізоляції у вигляді виробу з жорстких матеріалів: 1 – пристрій для кріплення ізоляції зі штирем Ш2; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – бандаж або кільце; 4 – стяжка

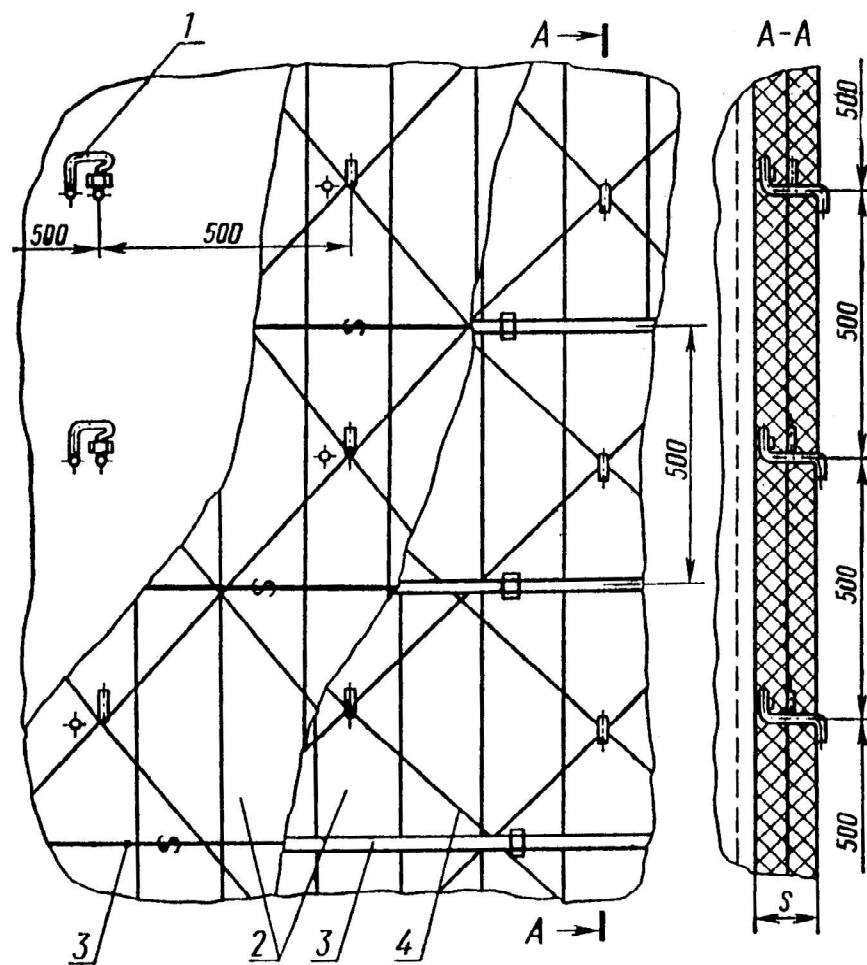


Рис. 4.14. Пристрій виконання 1 кріплення двохшарової ізоляції у вигляді виробу з жорстких матеріалів: 1 – пристрій для кріплення ізоляції зі штирем Ш1; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – бандаж або кільце

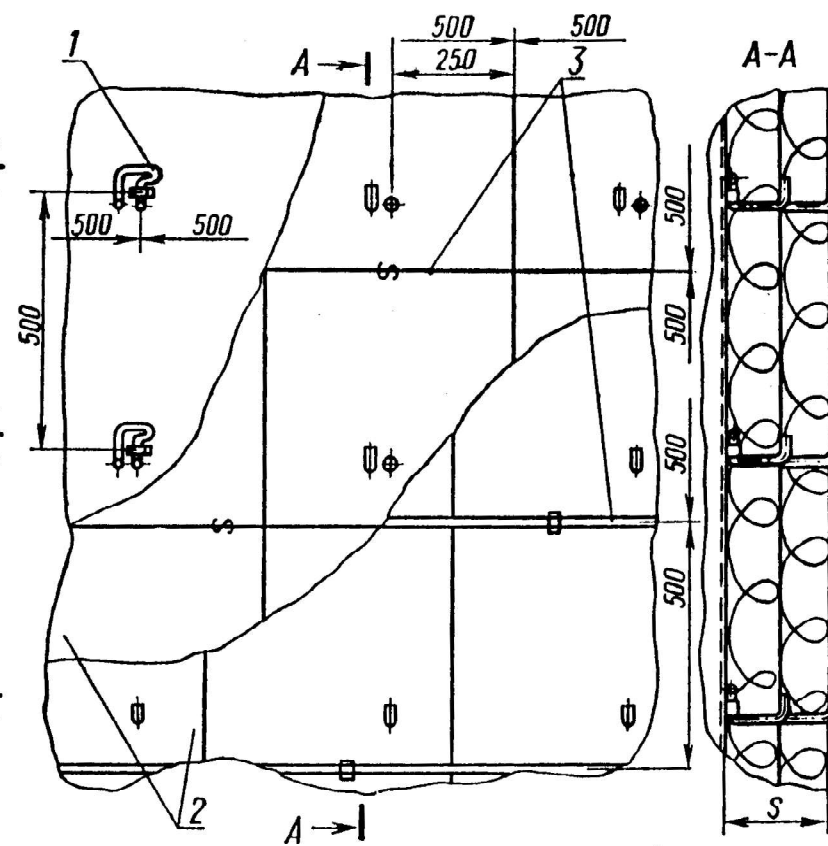


Рис. 4.15. Пристрій виконання 2 кріплення двохшарової ізоляції у вигляді виробу з жорстких матеріалів: 1 – пристрій для кріплення ізоляції зі штирем Ш2; 2 – теплоізоляційний шар; 3 – бандаж або кільце

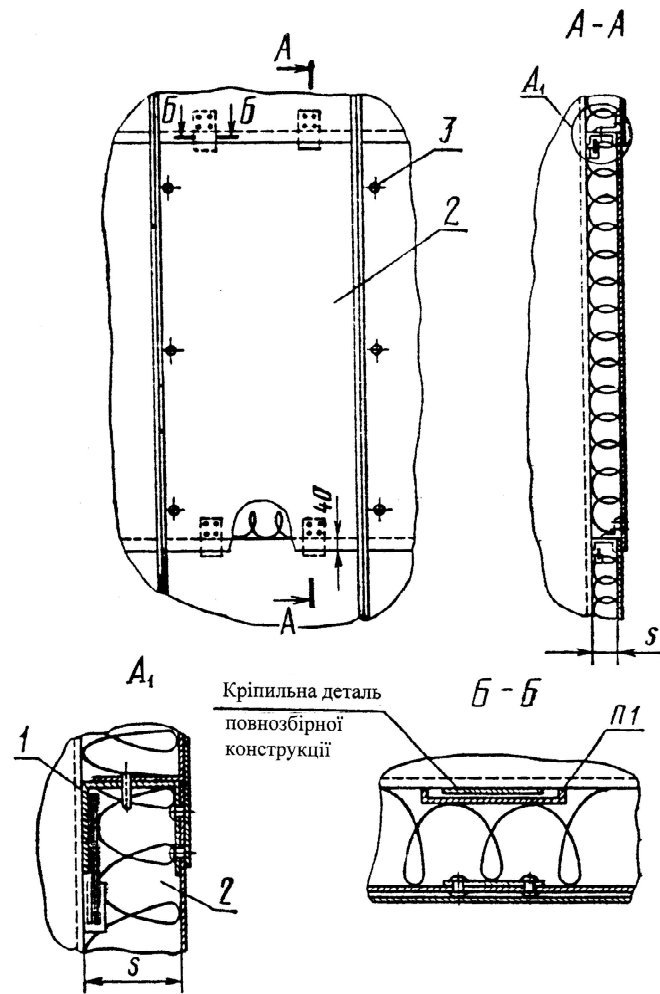


Рис. 4.16. Пристрій виконання 3 з підвіскою П1 кріплення ізоляції у вигляді виробу з повнозбірних теплоізоляційних конструкцій: 1 – пристрій для кріплення ізоляції; 2 – повнозбірна конструкція з підвіскою П1; 3 – гвинт для кріплення елементів повнозбірних конструкцій

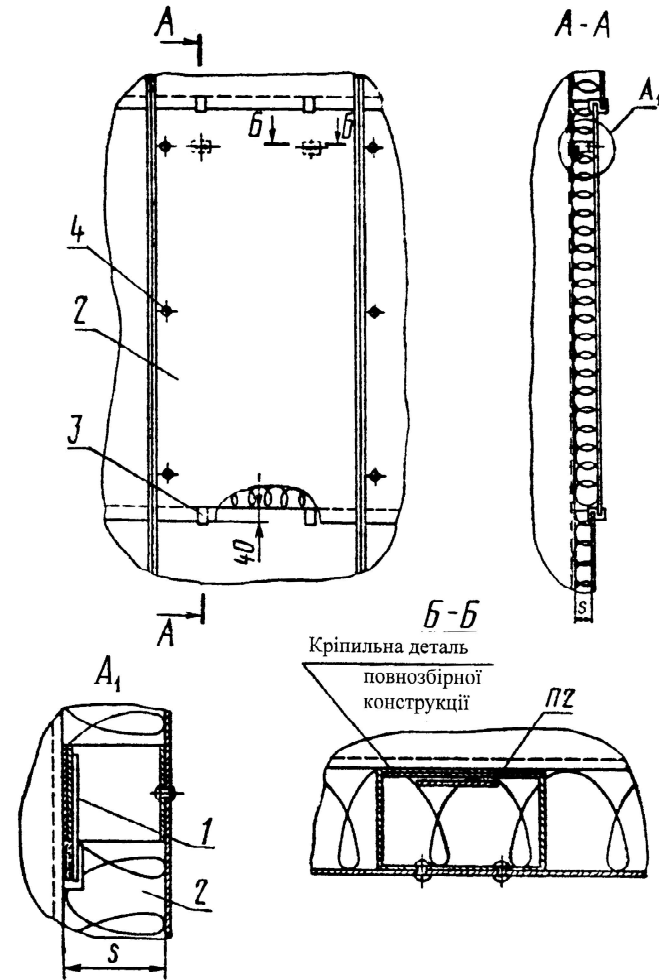


Рис. 4.17. Пристрій виконання 3 з підвіскою П2 кріплення ізоляції у вигляді виробу з повнозбірних теплоізоляційних конструкцій: 1 – пристрій для кріплення ізоляції з підвіскою П2; 2 – повнозбірна конструкція; 3 – скоба для кріплення елементів повнозбірних конструкцій; 4 – гвинт для кріплення елементів повнозбірних конструкцій

5. РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

5.1. Загальні відомості

Основним завданням розрахунку теплової ізоляції є визначення товщини ізоляційного шару, який забезпечує додержання заданих виробничо-технічних вимог, що пред'являються до ізоляції.

Якщо є можливість вибору теплоізоляційної конструкції з кількох різних видів, то визначають товщину ізоляційних шарів кожної конструкції, а остаточний вибір теплоізоляційної конструкції здійснюють за цими значеннями товщини, які визначають вартість виконання теплової ізоляції та можливість її влаштування з урахуванням навантаження на ізольований об'єкт та його конструктивних особливостей.

Шукана товщина ізоляційного шару може виявитися настільки великою, що спричинить певні ускладнення під час кріплення ізоляції або перевищить граничні габарити ізольованого об'єкта. В окремих випадках вирішальним може стати недопустимо високе масове навантаження від ізоляції на ізольований об'єкт.

Мінімально граничні товщини беруть з конструктивних міркувань зазвичай не менше 30–40 мм для всіх ізоляційних конструкцій, крім таких, що виконують з поштучних ізоляційних виробів, товщина яких і визначає товщину ізоляційної конструкції.

Розрахункові формули для плоскої поверхні використовують і для циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше. З достатнім ступенем точності ці залежності можна використовувати і для циліндричних об'єктів діаметром більше 1 м (при цьому похибка в розрахунках не перевищує 5 %).

Уплив штукатурного шару на термічний опір теплоізоляції можна враховувати, розглядаючи його як другий шар ізоляційної конструкції, проте це істотно ускладнює розрахунки. Тому розрахунок товщини ізоляції виконувати зручніше, якщо вважати теплоізоляцію одношаровою, а вплив термічного опору покривного штукатурного шару враховувати поправкою до шуканої величини, зменшуючи останню на величину поправки (табл. 5.1).

Найбільшого поширення натеper набули теплоізоляційні вироби з мінерального та скляного волокна – мати, плити, півциліндри, циліндри та ін., які під час укладання на ізольований об'єкт ущільнюються. Ущільнення здійснюється головним чином через дві причини: зміну геометричної форми виробу (від плоскої до криволінійної) під час укладання його на криволінійну поверхню об'єкта (наприклад, циліндричну стінку апарата або трубопроводу), а також через ущільнювальну дію монтажника на виріб під час укріпленні виробу на ізольованому об'єкті (наприклад, під час стягування бандажами). У деяких виробів, які мають малу густину, ущільнення підвищує теплоізоляційний ефект,

оскільки зменшується розмір пор, що запобігає розвитку конвективного теплообміну всередині теплоізоляційного виробу. Крім того, щільний теплоізоляційний шар більш довговічний і має стабільніші якісні показники, ніж пухкий.

Таблиця 5.1. Поправки до розрахункової товщини теплової ізоляції, мм, за наявності покривного штукатурного шару [17]

Склад штукатурного шару	Товщина штукатурного шару, мм	Величина поправки, мм, за коефіцієнта теплопровідності ізоляційного шару, Вт/(м·К)										
		0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
Азбозуритовий	10	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	8,0
	15	4,0	5,0	6,0	7,0	7,0	8,0	8,0	10,0	10,0	10,0	11,0
	20	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
Азбесто-гіпсовий	10	2,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,0	5,0	5,0	5,5	6,0	6,5
	15	3,5	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	8,0	8,5	9,0
	20	5,0	5,5	6,5	7,5	7,5	8,5	9,0	10,0	10,5	11,5	12,0
Азбоцементний	10	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0
	15	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	7,0	7,0
	20	4,0	4,0	5,0	6,0	6,0	7,0	7,0	8,0	8,0	9,0	9,0

Примітка. Величина поправки віднімається від розрахункової товщини теплоізоляційного шару.

Товщину теплоізоляційного виробу з матеріалу, якій ущільнюється, до встановлення виробу на ізольовану поверхню слід визначати з урахуванням коефіцієнта ущільнення* K_c за формулами:

– для циліндричної поверхні

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k}, \quad (5.1)$$

– для плоскої поверхні

$$\delta_2 = \delta_k K_c, \quad (5.2)$$

де δ_1 , δ_2 – товщина теплоізоляційного виробу до встановлення на ізольовану поверхню (без ущільнення), м; δ_k – розрахункова товщина теплоізоляційного шару з ущільненням, м; d – зовнішній діаметр ізольованого об'єкта (обладнання, трубопроводу), м; K_c – коефіцієнт ущільнення, який беруть за табл. 5.2.

Для багатошарової ізоляції товщину виробу до його ущільнення потрібно визначати окремо для кожного шару.

Об'єм теплоізоляційних виробів з ущільнюються матеріалів, які, до ущільнення визначають за формулою

* Коефіцієнт ущільнення – це відношення об'єму теплоізоляційного матеріалу або виробу до ущільнення (до його укладання на ізольований об'єкт) до об'єму цього матеріалу або виробу з урахуванням ущільнення (тобто матеріалу або виробу, укладеного на вказаний об'єкт).

$$V = V_i K_c$$

де V – об’єм теплоізоляційного матеріалу або виробу до ущільнення, м³; V_i – об’єм теплоізоляційного матеріалу або виробу з урахуванням ущільнення, м³.

У разі, коли термічна стійкість основного ізоляційного матеріалу є недостатньою, тобто коли температура ізольованого об’єкта вище гранично допустимої для даного теплоізоляційного матеріалу, безпосередньо на ізольовану поверхню об’єкта укладають так званий запобіжний шар з іншого, більш термостійкого матеріалу (здебільшого менш ефективного, ніж основний матеріал). Другим шаром, зверху запобіжного, встановлюють основний ізоляційний матеріал. Товщину першого запобіжного шару вибирають такою, щоб температура на його зовнішній поверхні (температура на межі контакту шарів ізоляції) не перевищувала максимальної температури використання основного ізоляційного матеріалу, встановленої відповідними стандартами або технічними умовами. При цьому товщина кожного шару двошарової ізоляції розраховується окремо.

Таблиця 5.2. Значення коефіцієнта ущільнення теплоізоляційних матеріалів

Теплоізоляційні матеріали й вироби	Коефіцієнт ущільнення K_c
Вироби мінераловатні з гофрованою структурою в разі укладання на трубопроводи та обладнання номінальним діаметром:	
менше DN200	1,3
від DN200 до DN350	1,2
понад DN350	1,1
Мати мінераловатні прошивні	1,2
Мати із скляного штапельного волокна	1,6
Мати з супертонкого скловолокна, мати БЗМ, полотна з ультрасупертонких і скломікрोकристалічних волокон середньою густиною від 19 до 56 кг/м ³ в разі укладання на трубопроводи та обладнання номінальним діаметром:	
менше DN800 за середньої густини 19 кг/м ³	3,2*
те саме, за середньої густини 56 кг/м ³	1,5*
DN800 і більше за середньої густини 19 кг/м ³	2,0*
те саме, за середньої густини 56 кг/м ³	1,5*
Плити мінераловатні на синтетичному зв’язуючому марки:	
50, 75	1,5
125, 175	1,2
Плити мінераловатні на бітумному зв’язуючому марки:	
75	1,5
100, 150	1,2
Плити напівжорсткі скловолокнисті на синтетичному зв’язуючому	1,15
Пінопласт ПВХ–Э	1,2
Пінопласт ППУ–ЭТ	1,3
* Проміжні значення коефіцієнта ущільнення слід визначати інтерполяцією	

Примітки:

1. В окремих випадках у проектно-кошторисній документації з теплової ізоляції можуть бути передбачені інші коефіцієнти ущільнення.
2. У разі, якщо у формулі (5.1) добуток $K_c(d + \delta_k)/(d + 2\delta_k)$ менше одиниці, він має бути прийнятий рівним одиниці.

Термін служби ізоляції залежить від багатьох факторів: від механічної міцності ізоляційного матеріалу, від способів кріплення та якості монтажу ізоляційної конструкції, від умов експлуатації, а також наявності, виду та якості покривного шару. Так, ізоляційні конструкції з покривом з листового алюмінію або з оцинкованої й пофарбованої сталі є більш довговічними, ніж конструкції, які мають штукатурний покривний шар.

Часто термін служби ізоляції визначається термінами ремонту обладнання, під час якого ізоляція частково або повністю руйнується й поновлюється.

Найбільший термін служби (10–15 років) мають мастикові ізоляційні конструкції в силу їх монолітності. Менший термін (5–10 років) мають ізоляційні конструкції з поштучних виробів, кріплення яких здійснюється за допомогою дроту, а також набивні та обгорткові ізоляційні конструкції. Найменший термін служби мають ізоляційні конструкції об'єктів, які піддаються вібрації й встановлені на відкритому повітрі.

Можливість повторного використання ізоляційних матеріалів і виробів під час ремонту обладнання та трубопроводів залежить від властивостей і умов їх експлуатації. Найбільший відсоток повторного використання мають жорсткі вироби (40–60 % і більше), а деякі теплоізоляційні матеріали, наприклад, заливний пінобетон, зовсім не можуть бути використані вдруге.

5.2. Умови розрахунку товщини теплоізоляційного шару

У цьому підрозділі розглянуто методики розрахунків товщини теплової ізоляції зовнішньої поверхні обладнання, трубопроводів і повітроводів у будівлях, спорудах і зовнішніх пристроях з температурою речовин, які містяться в них, від мінус 180 до плюс 600 °С.

Розрахунок товщини теплоізоляційного шару виконується:

1) за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню, яку слід брати:

а) для обладнання та трубопроводів з позитивними температурами, які розташовані на відкритому повітрі – згідно з таблицями Б.1 і Б.2, а які розташовані у приміщенні – згідно з таблицями Б.3 і Б.4;

б) для обладнання та трубопроводів з негативними температурами, які розташовані на відкритому повітрі – згідно з табл. В.1, а які розташовані у приміщенні – згідно з табл. В.2;

в) для паропроводів з конденсатопроводами за умови їх спільної прокладки в непрохідних каналах – згідно з табл. Г.1;

г) для трубопроводів двотрубних водяних теплових мереж за умови прокладки в непрохідних каналах – згідно з таблицями Д.1 і Д.2;

д) для трубопроводів водяних теплових мереж за умови двотрубною підземної безканальної прокладки – згідно з таблицями Е.1 і Е.2.

Для проектування теплової ізоляції для технологічних трубопроводів, які прокладаються в каналах і безканально, норми густини теплового потоку слід брати як для трубопроводів, які прокладаються на відкритому повітрі;

2) за заданою величиною теплового потоку;

3) за заданою величиною охолодження (нагрівання) речовини, що зберігається в ємкостях протягом певного часу;

4) за заданим зниженням (підвищенням) температури речовини, що транспортується трубопроводами;

5) за заданою кількістю конденсату в паропроводах;

6) за заданим часом припинення руху рідкої речовини в трубопроводах з метою запобігання її замерзанню або збільшення в'язкості;

7) за температурою на поверхні ізоляції, яку беруть не більше, °С:

а) для ізольованих поверхонь, які розташовані в робочій або обслуговуваній зоні приміщень, і містять речовини:

– температурою понад 100 °С.....45;

– температурою 100 °С і нижче.....35;

– температурою спалаху парів не вище 45 °С.....35;

б) для ізольованих поверхонь, які розташовані на відкритому повітрі в робочій або обслуговуваній зоні:

– за металевого покривного шару55;

– для інших видів покривного шару60.

Температура на поверхні теплової ізоляції трубопроводів, які розташовані за межами робочої або обслуговуваної зони, не повинна перевищувати температурних границь застосування матеріалів покривного шару, але бути не вище 75 °С;

8) з метою запобігання конденсації вологи з оточуючого повітря на покривному шарі теплової ізоляції обладнання та трубопроводів, які містять речовини з температурою нижче температури оточуючого повітря. Даний розрахунок слід виконувати тільки для ізольованих поверхонь, розташованих у приміщеннях. Розрахункову відносну вологість повітря беруть згідно із заданням на проектування, але не менше 60 %;

9) з метою запобігання конденсації вологи на внутрішніх поверхнях об'єктів, які транспортують газоподібні речовини, що містять водяну пару або водяну пару й гази, які під час розчинення в сконденсованій водянній парі можуть спричинити утворення агресивних продуктів.

5.3. Методики розрахунку товщини теплоізоляційного шару

Товщина теплоізоляційного шару для обладнання та трубопроводів з позитивними температурами визначається виходячи з умов 1–7 і 9 п. 5.2, а для обладнання та трубопроводів з негативними температурами – виходячи з умов 1–4 і 8 п. 5.2.

5.3.1. Для плоскої поверхні й циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше* (умови 1–6 і 9 п. 5.1) товщину теплоізоляційного шару δ_k , мм, визначають за формулою

$$\delta_k = \lambda_k R_k; \quad (5.3)$$

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m,$$

де R_k – термічний опір теплоізоляційної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

R_{tot} – опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища, який беруть за табл. Ж.1, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

R_m – термічний опір неметалевої стінки ізолюваного об'єкта

$$R_m = \delta_m / \lambda_m, \quad (5.4)$$

де δ_m – товщина неметалевої стінки ізолюваного об'єкта, м;

λ_m – коефіцієнт теплопровідності матеріалу неметалевої стінки ізолюваного об'єкта, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

λ_k – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару, яку визначають по табл. А.1 і А.2, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, а за безканальної прокладки – за формулою

$$\lambda_k = \lambda K, \quad (5.5)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності сухого матеріалу основного шару, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, яку визначають за табл. А.2;

K – коефіцієнт зволоження, який враховує збільшення теплопровідності від зволоження і який визначають залежно від виду теплоізоляційного матеріалу й типу ґрунту за табл. 5.3;

Таблиця 5.3. Значення коефіцієнта зволоження K

Матеріал теплоізоляційного шару	Коефіцієнт зволоження залежно від типу ґрунту згідно з ГОСТ 25100–82		
	маловологий	вологий	насичений водою
1	2	3	4
Армопінобетон	1,15	1,25	1,40
Бітумоперліт	1,10	1,15	1,30
Бітумовермикуліт	1,10	1,15	1,30

* Як вже було сказано в п. 5.1, з достатнім ступенем точності формулу (3.3) можна використовувати і для циліндричних об'єктів діаметром більше 1 м (при цьому похибка в розрахунках не перевищує 5 %).

1	2	3	4
Бітумокерамзит	1,10	1,15	1,25
Пінополіуретан	1,00	1,05	1,10
Полімербетон	1,05	1,10	1,15
Фенольний поропласт ФЛ	1,05	1,10	1,15

Для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м товщина теплоізоляційного шару визначається за формулою

$$\delta_k = \frac{d}{2}(B-1); \quad (5.6)$$

$$\ln B = 2\pi\lambda_k \left(r_{tot} - r_m - \frac{1}{\alpha_e \pi(d+0,1)} \right), \quad (5.7)$$

де $B = d_1/d$ – відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару d_1 , м, до зовнішнього діаметра ізолюваного об'єкта d , м;

r_{tot} – опір теплопередачі на 1 м довжини теплоізоляційної конструкції циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м, (м·К)/Вт;

r_m – термічний опір 1 м довжини неметалевої стінки ізолюваного об'єкта

$$r_m = \frac{\ln(d/d_{int})}{2\pi\lambda_m}, \quad (5.8)$$

де d_{int} – внутрішній діаметр стінки ізолюваного об'єкта, м.

Величини R_{tot} і r_{tot} залежно від вихідних умов визначають так:

а) за нормованою густиною теплового потоку (умова 1 п. 5.2):

– за нормованою поверхневою густиною теплового потоку:

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{qK_1}, \quad (5.9)$$

де t_w – температура речовини в ізолюваному об'єкті, °С;

t_e – температура оточуючого середовища, яку беруть згідно з п. 5.3.4, °С;

q – нормована поверхнева густина теплового потоку, яку беруть згідно з додатками А–Е, Вт/м²;

K_1 – коефіцієнт, який враховує район будівництва й місце встановлення обладнання (спосіб прокладки трубопроводу); для території України $K_1=1,0$;

– за нормованою лінійною густиною теплового потоку

$$r_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q_l K_1}, \quad (5.10)$$

де q_l – нормована лінійна густина теплового потоку з 1 м довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції, яку беруть згідно з додатками А–Е, Вт/м;

б) за заданою величиною теплового потоку (умова 2 п. 5.2):

– за заданою поверхневою величиною теплового потоку

$$R_{tot} = \frac{(t_w - t_e)AK_{red}}{Q}, \quad (5.11)$$

де A – тепловіддавальна поверхня заізолюваного об’єкта, m^2 ;

Q – тепловий потік крізь теплоізоляційну конструкцію, Вт;

K_{red} – коефіцієнт, який враховує додатковий потік теплоти крізь опори: для опор обладнання $K_{red} = 1,1$; для заізолюваних опор трубопроводів, а також для фланцевих з’єднань та арматури значення коефіцієнта K_{red} беруть за табл. 5.4.

Таблиця 5.4. Значення коефіцієнта K_{red} для трубопроводів

Спосіб прокладки трубопроводу	Коефіцієнт K_{red}
На відкритому повітрі, в непрохідних каналах, тунелях і приміщеннях:	
– для сталевих трубопроводів на рухомих опорах, номінальним діаметром:	
– менше DN150	1,20
– DN150 і більше	1,15
– для сталевих трубопроводів на підвісних опорах	1,05
– для неметалевих трубопроводів на рухомих і підвісних опорах	1,70
– для неметалевих трубопроводів, які ізолюють разом з основою	1,20
– за групової прокладки неметалевих трубопроводів на суцільному настилі	2,00
Безканальний	1,15

– за заданою лінійною густиною теплового потоку

$$r_{tot} = \frac{(t_w - t_e)l K_{red}}{Q}, \quad (5.12)$$

де l – довжина тепловіддавального об’єкта (трубопроводу), м.

в) за заданою величиною охолодження (нагрівання) речовини, яка зберігається в ємкостях (умова 3 п. 5.2)

$$R_{tot} = \frac{3,6(t_{wm} - t_e)ZAK_{red}}{(V_m \rho_m c_m + V_w \rho_w c_w)(t_{w1} - t_{w2})}, \quad (5.13)$$

де 3,6 – коефіцієнт приведення одиниці масової теплоємності, кДж/(кг·К) до одиниці Вт·год/(кг·К);

t_{wm} – середня температура речовини, °С;

Z – заданий час зберігання речовини, год;

V_m – об’єм стінки ємкості, m^3 ;

ρ_m – густина матеріалу стінки ємкості, kg/m^3 ;

c_m – масова теплоємність матеріалу стінки, кДж/(кг·К);

t_{w1} – початкова температура речовини, °С;

t_{w2} – кінцева температура речовини, °С;

г) за заданим зниженням (підвищенням) температури речовини, транспортованої трубопроводами (умова 4 п. 5.2):

$$\text{за } \frac{t_{w1} - t_e}{t_{w2} - t_e} \geq 2 \quad r_{tot} = \frac{3,6 l K_{red}}{G_w c_w \ln \frac{t_{w1} - t_e}{t_{w2} - t_e}}; \quad (5.14)$$

$$\text{за } \frac{t_{w1} - t_e}{t_{w2} - t_e} < 2 \quad r_{tot} = \frac{3,6 l K_{red} (t_{wm} - t_e)}{G_w c_w (t_{w1} - t_{w2})}, \quad (5.15)$$

де G_w – масова витрата речовини, кг/год.

Формули (5.14) і (5.15) застосовуються для газопроводів сухого газу, якщо виконується відношення $t_{w1}/p < 5$, де p – тиск газу, МПа. Для паропроводів перегрітої пари в знаменник формули (5.15) замість добутку $G_w c_w (t_{w1} - t_{w2})$ слід поставити добуток витрати пари на різницю питомих ентальпій пари на початку та в кінці трубопроводу $G_w (i_{w1} - i_{w2})$;

Примітка. У міжцехових комунікаціях промислових підприємств часто зустрічаються розгалужені схеми трубопроводів з проміжним відбиранням транспортованої речовини. У такому разі потрібно розглядати окремо кожен з ділянок трубопроводу з різними масовими витратами речовини (методику розрахунку див., наприклад [14]).

У разі транспортування трубопроводами вологого газу необхідно враховувати теплоту, яка виділяється під час конденсації з газу водяної пари внаслідок охолодження газу. Якщо ж температура вологого газу на розрахунковій ділянці трубопроводу вище за температуру насичення, то такий газ можна розглядати як сухий.

д) за заданою кількістю конденсату в паропроводі насиченої пари (умова 5 п. 5.2)

$$r_{tot} = \frac{3,6(t_w - t_e) K_{red}}{G_w m r_p}, \quad (5.16)$$

де m – коефіцієнт, який визначає допустиму кількість конденсату в парі;

r_p – питома кількість теплоти конденсації пари, кДж/кг;

е) за заданим часом припинення руху рідкої речовини в трубопроводі з метою запобігання його замерзанню або збільшення в'язкості (умова 6 п. 5.2)

$$r_{tot} = \frac{3,6 Z K_{red}}{\frac{2(t_w - t_{wz})(V'_w \rho_w c_w + V'_m \rho_m c_m)}{t_w + t_{wz} - 2t_e} + \frac{0,25 V'_w \rho_w r_w}{t_{wz} - t_e}}, \quad (5.17)$$

де Z – заданий час припинення руху рідкої речовини, год;

t_{wz} – температура замерзання (твердіння) речовини, °С;

V'_w і V'_m – приведені об'єми речовини й матеріалу трубопроводу до 1 м довжини, м³/м;

r_w – питома кількість теплоти замерзання (твердіння) рідкої речовини, кДж/кг;

ж) для запобігання конденсації вологи на внутрішніх поверхнях об'єктів, що транспортують газоподібні речовини, які містять водяну пару (умова 9 п. 5.2):

– для об'єктів (газоходів) прямокутного перерізу

$$R_{tot} = \frac{t_{int} - t_e}{\alpha_{int}(t_w - t_{int})}, \quad (5.18)$$

де t_{int} – температура внутрішньої поверхні ізолюваного об'єкта (газоходу), °C;
 α_{int} – коефіцієнт тепловіддачі від транспортованої речовини до внутрішньої поверхні ізолюваного об'єкта, Вт/(м²·К);

– для циліндричних об'єктів (газоходів) діаметром менше 2 м

$$r_{tot} = \frac{t_{int} - t_e}{\alpha_{int} \pi d_{int}(t_w - t_{int})},$$

де d_{int} – внутрішній діаметр стінки ізолюваного об'єкта, м.

Примітка. Для розрахунку товщини ізоляції трубопроводів, які прокладаються в непрохідних каналах і безканально, слід додатково враховувати термічний опір ґрунту, повітря всередині каналу і взаємний вплив трубопроводів.

5.3.2. Товщину теплоізоляційного шару, яка забезпечує задану температуру на поверхні ізоляції (умова 7 п. 5.2), визначають:

– для плоскої й циліндричної поверхні діаметром 2 м і більше

$$\delta_k = \frac{\lambda_k(t_w - t_i)}{\alpha_e(t_i - t_e)}, \quad (5.19)$$

де t_i – температура поверхні ізоляції, °C;

– для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м – за формулою (5.6), причому B слід визначати за залежністю

$$B \ln B = \frac{2\lambda_k(t_w - t_i)}{\alpha_e d(t_i - t_e)}, \quad (5.20)$$

5.3.3. Товщина теплоізоляційного шару, яка забезпечує запобігання конденсації вологи з повітря на поверхні ізолюваного об'єкта (умова 8 п. 5.1) визначається за формулами:

– для плоскої й циліндричної поверхні діаметром 2 м і більше

$$\delta_k = \frac{\lambda_k}{\alpha_e} \left(\frac{t_e - t_w}{t_e - t_i} - 1 \right), \quad (5.21)$$

– для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м – за формулою (5.6), де B слід визначати за формулою

$$B \ln B = \frac{2\lambda_k}{\alpha_e d} \left(\frac{t_e - t_w}{t_e - t_i} - 1 \right). \quad (5.22)$$

Розрахункові значення перепаду $t_e - t_i$, °C, слід брати за табл.5.5.

Примітки.

1. Для ізолюваних поверхонь з позитивними температурами товщина теплоізоляційного шару, визначена за п. 5.2, має бути перевірена за умов 1 і 7 п. 5.2, а для поверхонь з негативними температурами – за умов 1 і 8 п. 5.2. У результаті беруть більше значення товщини шару.

2. Значення коефіцієнта тепловіддачі від зовнішньої поверхні покривного шару й коефіцієнта тепловіддачі від повітря в каналі до стінки каналу визначають розрахунком. Допускається брати ці коефіцієнти за табл. Ж.1.

Таблиця 5.5. Значення перепаду $t_e - t_i$, °C

Температура оточуючого повітря, °C	Розрахунковий перепад $t_e - t_i$, °C, за відносної вологості оточуючого повітря, %				
	50	60	70	80	90
10	10,0	7,4	5,2	3,3	1,6
15	10,3	7,7	5,4	3,4	1,6
20	10,7	8,0	5,6	3,6	1,7
25	11,1	8,4	5,9	3,7	1,8
30	11,6	8,6	6,1	3,8	1,8

5.3.4. За розрахункову температуру оточуючого середовища слід брати:

- 1) для ізольованих поверхонь, розташованих на відкритому повітрі:
 - а) для обладнання та трубопроводів під час розрахунку за нормованою густиною теплового потоку – середню за рік (табл. 5.6);
 - б) для трубопроводів теплових мереж, які працюють тільки в опалювальний період, – середню за період із середньодобовою температурою зовнішнього повітря 8 °C і нижче;
 - в) для розрахунку з метою забезпечення нормованої температури на поверхні ізоляції – середню максимальну температуру найбільш жаркого місяця;
 - г) для розрахунку за умов 3–6 і 9 п. 5.2 – середню найбільш холодної п'ятиденки – для поверхонь з позитивними температурами; середню максимальну найбільш жаркого місяця – для поверхонь з негативними температурами речовин, які знаходяться в ізольованому об'єкті;
- 2) для ізольованих поверхонь, розташованих у приміщенні, – згідно з технічним завданням на проектування, а за відсутності даних про температуру оточуючого повітря – плюс 20 °C;
- 3) для трубопроводів, розташованих у тунелях, – плюс 40 °C;
- 4) для підземної прокладки в каналах або за безканальної прокладки трубопроводів:
 - а) для визначення товщини теплоізоляційного шару за нормами густини теплового потоку – середню за рік температуру ґрунту на глибині закладення осі трубопроводу;
 - б) для визначення товщини теплоізоляційного шару за заданою кінцевою температурою речовини – мінімальну середньомісячну температуру ґрунту на глибині закладення осі трубопроводу;

Примітка. За величини заглиблення верхньої частини перекриття каналу (у разі прокладки в каналах) або верху теплоізоляційної конструкції трубопроводу (за безканальної прокладки) 0,7 м і менше за розрахункову температуру оточуючого середовища має братися така сама температура зовнішнього повітря, що і за надземної прокладки.

За розрахункову температуру оточуючого середовища для визначення кількості теплоти, яка виділилася з поверхні теплоізоляційної конструкції за рік, беруть:

а) для ізольованих поверхонь, розташованих на відкритому повітрі – згідно з позицією 1 п. 5.3.4;

б) для ізольованих поверхонь, розташованих у приміщенні або тунелі – згідно з позиціями 2 і 3 п. 5.3.4;

в) для трубопроводів за умови прокладки в каналах або безканальної прокладки – згідно з позицією 4 п. 5.3.4.

5.3.5. За розрахункову температуру теплоносія для визначення товщини теплоізоляційного шару теплоізоляційної конструкції за нормами густини теплового потоку слід брати середню за рік, а в решті випадків – згідно з технічним завданням.

При цьому для трубопроводів теплових мереж за розрахункову температуру теплоносія беруть:

а) для водяних мереж – середню за рік температуру води, а для мереж, які працюють тільки в опалювальний період – середню за опалювальний період;

б) для парових мереж – середню по довжині паропроводу максимальну температуру пари;

в) для конденсатних мереж і мереж гарячого водопостачання – максимальну температуру конденсату або гарячої води.

За заданої кінцевої температури пари береться найбільша з отриманих товщин теплової ізоляції, визначених для різних режимів роботи парових мереж.

Для визначення температури ґрунту в температурному полі підземного трубопроводу теплових мереж температуру теплоносія слід брати:

а) для водяних теплових мереж – за графіком температур за середньомісячною температурою зовнішнього повітря розрахункового місяця;

б) для парових мереж – максимальну температуру пари в місці паропроводу, що розглядається (з урахуванням падіння температури пари по довжині трубопроводу);

в) для конденсатних мереж і мереж гарячого водопостачання – максимальну температуру конденсату або води.

Примітка. Температуру ґрунту в розрахунках слід брати: для опалювального періоду – мінімальну середньомісячну, а для неопалювального періоду – максимальну середньомісячну.

Таблиця 5.6. Параметри зовнішнього повітря [13]

Пункт	Температура, °С								Середня місячна відносна вологість повітря о 13-й год, %	
	середня місячна		серед-ня річна	середня максима-льна найбільш жаркого місяця	найбільш холодної п'ятиденки забезпеченістю		період із серед-ньою температу-рою повітря ≤8 °С			
	січня	лип-ня			0,98	0,92	трива-лість, діб	середня темпе-ратура	найбільш холодного місяця	найбільш жаркого місяця
Бердянськ	−3,8	23,5	9,6	27,7	−22	−19	168	0	85	58
Вінниця	−6,0	18,7	6,7	24,6	−25	−21	189	−1,1	81	54
Джанкой	−1,8	23,3	10,5	29,6	−21	−19	160	1,5	80	41
Дніпропетровськ	−5,4	22,3	8,5	28,2	−25	−23	175	−1,0	83	43
Донецьк	−6,6	21,6	7,5	27,6	−25	−23	183	−1,8	88	43
Євпаторія	−0,1	23,2	11,0	28,6	−18	−16	149	2,4	80	52
Житомир	−5,7	18,9	6,8	24,9	−25	−22	192	−0,8	83	53
Запоріжжя	−4,9	22,8	9,0	28,9	−24	−22	174	−0,4	82	42
Івано–Франківськ	−5,1	18,5	7,3	24,6	−22	−20	184	−0,1	79	56
Кіровоград	−5,6	20,2	7,5	23,5	−25	−22	185	−1,0	85	46
Київ	−5,9	19,8	7,2	25,6	−25	−22	187	−1,1	82	52
Луганськ	−6,6	22,3	8,0	29,1	−27	−25	180	−1,6	81	39
Луцьк	−4,9	18,6	7,2	24,4	−22	−20	187	−0,2	82	55
Львів	−5,0	17,4	6,7	23,0	−20	−19	191	−0,2	80	58
Миколаїв	−3,5	23,2	9,8	29,3	−23	−20	165	−0,4	82	41
Одеса	−2,5	22,2	9,8	26,9	−21	−18	165	1,0	81	55
Полтава	−6,9	20,6	7,0	26,5	−26	−23	187	−1,9	85	48
Рівне	−5,4	18,5	6,9	24,2	−22	−21	191	−0,5	84	56

Продовження табл. 5.6

Пункт	Температура, °С								Середня місячна відносна вологість повітря о 13-й год, %	
	середня місячна		серед- ня річна	середня максима- льна	найбільш холодної п'ятиденки забезпеченістю		період із серед- ньою температу- рою повітря ≤8 °С			
	січня	лип- ня		найбільш жаркого місяця	0,98	0,92	трива- лість, діб	середня темпе- ратура	найбільш холодного місяця	найбільш жаркого місяця
Сімферополь	−1,0	21,8	10,2	28,2	−18	−16	158	1,9	79	44
Суми	−7,9	19,3	6,0	25,4	−27	−24	195	−2,5	85	53
Тернопіль	−5,4	18,4	6,9	24,1	−23	−21	190	−0,5	81	56
Ужгород	−3,1	20,5	9,6	26,1	−20	−18	162	1,6	76	52
Феодосія	0,6	23,8	11,7	28,1	−17	−15	144	2,9	78	50
Харків	−7,3	20,8	6,9	26,7	−26	−23	189	−2,1	81	47
Херсон	−3,2	23,0	9,8	29,4	−23	−19	167	0,6	83	41
Хмельницький	−5,6	18,6	6,8	24,7	−22	−21	191	−0,6	83	54
Черкаси	−5,8	20,0	7,2	26,3	−25	−22	189	−1,0	84	49
Чернівці	−5,0	19,3	7,8	25,6	−22	−20	179	−0,2	80	55
Чернігів	−6,7	19,4	6,5	25,0	−26	−23	191	−1,7	84	52
Ялта	4,0	23,7	13,0	27,9	−7	−6	126	5,2	71	56

5.4. Приклади розрахунку товщини теплоізоляційного шару

5.4.1. Приклади розрахунку товщини теплоізоляційного шару за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню

Приклад 1. Визначити товщину теплоізоляційного шару корпуса апарата, розташованого на відкритому повітрі в межах м. Києва. Зовнішній діаметр обичайки корпуса, виготовленої зі сталі 20К ГОСТ 5520–79, $d = 2224$ мм; довжина корпуса – 6000 мм. Температура речовини в апараті $t_w = 200$ °С. Ізоляційний шар виконується з мінераловатних прошивних мат згідно з ГОСТ 21880–94, марки 125. Покривний шар теплоізоляційної конструкції – тонколистова оцинкована сталь. Кількість годин роботи апарата в рік – 6000.

Для циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше для визначення товщини теплоізоляційного шару використовуємо формулу (5.3).

Оскільки обичайка корпуса апарата виготовлена зі сталевих прокату, то термічний опір $R_m = 0$.

Коефіцієнт тепловіддачі α_e від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища для даного ізольованого об'єкта (розташованого на відкритому повітрі з покривним шаром, який має низький коефіцієнт випромінювання (тонколистова оцинкована сталь)) становить 35 Вт/(м²·К) (див. табл. Ж.1).

Розрахункова температура оточуючого середовища t_e для заізольованих об'єктів, розташованих на відкритому повітрі, під час розрахунку за нормованою густиною теплового потоку, дорівнює середній за рік (див. табл. 5.6). Для Києва вона становить 7,2 °С.

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі, становить (див. примітку до табл. А.1):

– улітку

$$t_m = (t_w + 40)/2 = (200 + 40)/2 = 120 \text{ °С};$$

– узимку

$$t'_m = t_w/2 = 200/2 = 100 \text{ °С}.$$

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару в конструкції (див. табл. А.1):

– улітку

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 t_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 120 = 0,073 \text{ Вт/(м·К)};$$

– узимку

$$\lambda'_k = 0,049 + 0,0002 t'_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 100 = 0,069 \text{ Вт/(м·К)}.$$

Оскільки $\lambda_k > \lambda'_k$, то подальші розрахунки здійснюємо тільки для літніх умов $\lambda_k = 0,073$ Вт/(м·К).

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{qK_1} = \frac{200 - 7,2}{85 \cdot 1} = 2,268 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт},$$

де q – нормована поверхнева густина теплового потоку (див. табл. Б.1), $\text{Вт}/\text{м}^2$; K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну вартості теплоти й теплоізоляційної конструкції залежно від району встановлення ізолюваного об'єкта (див. залежність (5.9)).

Термічний опір теплоізоляційної конструкції

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 2,268 - \frac{1}{35} - 0 = 2,239 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

Товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \lambda_k R_k = 0,073 \cdot 2,239 = 0,163 \text{ м}.$$

Товщину теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізолювану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мінераловатних прошивних мат становить 1,2 (див. табл. 5.2).

Тоді за формулою (5.1) товщина δ_1

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,163 \cdot 1,2 \frac{2,224 + 0,163}{2,224 + 2 \cdot 0,163} = 0,163 \cdot 1,123 = 0,154 \text{ м}.$$

Згідно з табл. 2.3 виконавча товщина теплоізоляційного шару становить 180 мм.

Примітка. Розрахунок товщини теплоізоляційного шару днищ апарата здійснюється аналогічно. Для еліптичних днищ згідно з ГОСТ 6533–78 радіус кривизни у вершині днища дорівнює d , а для напівсферичних днищ – $0,5d$.

Приклад 2. Визначити товщину теплоізоляційного шару корпуса та еліптичних днищ кожухотрубного теплообмінника, розташованого у приміщенні в межах м. Києва. Зовнішній діаметр обичайки корпуса, виготовленої зі сталі 12X18Н10Т ГОСТ 5632–72, $d = 816$ мм; довжина корпуса апарата $L = 4000$ м. Температура речовини в міжтрубному просторі апарата $t_w = 200$ °С. Температура речовини в трубному просторі $t'_w = 200$ °С. Ізоляційний шар виконується з мат із скляного штапельного волокна на синтетичному зв'язуючому, ГОСТ 10499–78, марки МС-50. Покривний шар теплоізоляційної конструкції – тонколистова сталь, пофарбована оливною фарбою. Кількість годин роботи апарата в рік – 4000. Товщина днища 8 мм.

Для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м для визначення товщини теплоізоляційного шару використовуємо формулу (5.6).

Оскільки обичайка корпуса й днища апарата виготовлені зі сталевих прокату, то термічний лінійний опір $r_m = 0$ ($R_m = 0$).

Коефіцієнт тепловіддачі α_e від зовнішньої поверхні теплоізоляційної

конструкції до оточуючого середовища для даного ізольованого об'єкта (розташованого в приміщенні з покривним шаром, який має високий коефіцієнт випромінювання (тонколистова сталь, пофарбована оливною фарбою)) становить 12 Вт/(м²·К) (див. табл. Ж.1).

Розрахункову температуру оточуючого середовища t_e для ізольованих об'єктів, розташованих у приміщенні, під час розрахунку за нормованою густиною теплового потоку, беруть згідно з технічним завданням на проектування (за відсутності даних про температуру оточуючого середовища – плюс 20 °С (див. п. 5.2.4)). Отже, $t_e=20$ °С.

Визначимо спочатку товщину теплоізоляційного шару корпусу апарата.

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих у приміщеннях, становить (див. примітку до табл. А.1)

$$t_m = (t_w + 40)/2 = (200 + 40)/2 = 120 \text{ °С.}$$

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару в конструкції (див. табл. А.1)

$$\lambda_k = 0,042 + 0,00028t_m = 0,042 + 0,00028 \cdot 120 = 0,0756 \text{ Вт/(м·К).}$$

Опір теплопередачі на 1 м довжини теплоізоляційної конструкції

$$r_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q_l K_1} = \frac{200 - 20}{342 \cdot 1} = 0,526 \text{ м·К/Вт,}$$

де q_l – нормована лінійна густина теплового потоку з одного метра довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції (див. табл. Б.4); K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну вартості теплоти й теплоізоляційної конструкції залежно від району встановлення ізольованого об'єкта (див. формулу (5.9)).

Відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару до зовнішнього діаметра ізоляційного об'єкта (див. формулу (5.7))

$$\begin{aligned} B &= \exp \left(2\pi\lambda_k \left[r_{tot} - r_m - \frac{1}{\alpha_e \pi(d + 0,1)} \right] \right) = \\ &= \exp \left(2\pi \cdot 0,0756 \left[0,526 - 0 - \frac{1}{12\pi(0,816 + 0,1)} \right] \right) = 1,266. \end{aligned}$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \frac{d}{2}(B - 1) = \frac{0,816}{2}(1,266 - 1) = 0,109 \text{ м.}$$

Товщину теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мат із скляного штапельного волокна становить 1,6 (див. табл. 5.2).

Тоді за формулою (5.1) товщина δ_1

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,109 \cdot 1,6 \frac{0,816 + 0,109}{0,816 + 2 \cdot 0,109} = 0,109 \cdot 1,434 = 0,156 \text{ м.}$$

Згідно з табл. 2.3 виконавча товщина теплоізоляційного шару для ізолювання корпусу апарата становить 160 мм.

Тепер визначимо товщину теплоізоляційного шару днищ апарата.

Середня температура теплоізоляційного шару днищ апарата, розташованого у приміщенні, становить (див. примітку до табл.А.1)

$$t_m = (t'_w + 40)/2 = (140 + 40)/2 = 90 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару в конструкції (див.табл.А.1)

$$\lambda_k = 0,042 + 0,00028 t_m = 0,042 + 0,00028 \cdot 90 = 0,0672 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

Внутрішній радіус еліптичного днища в його вершині згідно з ГОСТ 6533–78 дорівнює внутрішньому діаметру обичайки корпусу, тобто 0,8 м. Отже, діаметр зовнішньої поверхні вершини днища становить 1,608 м, а тому для визначення товщини теплоізоляційного шару днища можна використати формулу (5.3)

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q K_1} = \frac{140 - 20}{80,6 \cdot 1} = 1,489 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт},$$

де q – нормована поверхнева густина теплового потоку (див. табл. Б.4), Вт/м²; K_1 – коефіцієнт, який враховує зміну вартості теплоти й теплоізоляційної конструкції залежно від району встановлення ізолюваного об'єкта (див. формулу (5.9)).

Термічний опір теплоізоляційної конструкції

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 1,489 - \frac{1}{12} - 0 = 1,406 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}.$$

Товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \lambda_k R_k = 0,0672 \cdot 1,406 = 0,094 \text{ м.}$$

Товщина теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізолювану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мат із скляного штапельного волокна становить 1,6 (див. табл. 5.2).

Тоді за формулою (5.1) товщина δ_1

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,094 \cdot 1,2 \frac{1,608 + 0,094}{1,608 + 2 \cdot 0,094} = 0,094 \cdot 1,137 = 0,107 \text{ м.}$$

Згідно з табл. 2.3 виконавча товщина теплоізоляційного шару для ізолювання корпусу днищ становить 120 мм.

5.4.2. Приклади розрахунку товщини теплоізоляційного шару за заданою величиною теплового потоку

Приклад 3. Визначити товщину теплоізоляційного шару апарата за даними прикладу 1. Днища апарата еліптичні згідно з ГОСТ 6533–78. Задана (допустима) величина теплового потоку становить $Q = 8$ кВт.

Для циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше для визначення товщини теплової ізоляції використовуємо формулу (5.3).

Визначення величин R_m , α_e , t_m , t_e , λ_k – див. приклад 1.

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції обчислюємо за формулою (5.11)

$$R_{tot} = \frac{(t_w - t_e) A K_{red}}{Q} = \frac{(200 - 7,2) \cdot 63,5 \cdot 1,1}{8000} = 1,683 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де A – тепловіддавальна поверхня заізольованого об'єкта, м^2 ; беручи як попереднє значення виконавчої товщини теплоізоляційного шару корпусу й днища величину 160 мм, отримуємо

$$A = A_k + 2A_d = A_{k1} L + 2A_d = 8 \cdot 6 + 2 \cdot 7,75 = 63,5 \text{ м}^2,$$

A_k – тепловіддавальна поверхня заізольованого корпусу апарата, м^2 ; A_{k1} – тепловіддавальна поверхня одного метра довжини заізольованого корпусу апарата, м^2 (табл. 3.2); A_d – тепловіддавальна поверхня ізольованого днища апарата, м^2 (див. табл. 3.2); K_{red} – коефіцієнт, який враховує додатковий потік теплоти крізь опори (див. п. 5.3.1); беремо $K_{red} = 1,1$.

Термічний опір теплоізоляційної конструкції

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 1,683 - \frac{1}{35} - 0 = 1,654 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \lambda_k R_k = 0,073 \cdot 1,654 = 0,121 \text{ м}.$$

Товщина теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мінераловатних пошивних мат становить 1,2 (див. табл. 5.2).

Тоді за формулою (5.1) товщина δ_1

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,121 \cdot 1,2 \frac{2,224 + 0,121}{2,224 + 2 \cdot 0,121} = 0,121 \cdot 1,141 = 0,138 \text{ м}.$$

Згідно з табл. 2.3 виконавча товщина теплоізоляційного шару для ізолювання корпусу апарата становить 140 мм.

Примітка. Якщо б остаточне значення виконавчої товщини теплоізоляційного шару відрізнялося б від прийнятої, то необхідно було б повторити розрахунки, починаючи з визначення величини A (тепловіддавальної поверхні заізольованого об'єкта).

Приклад 4. Визначити товщину теплоізоляційного шару горизонтального сталевго паропроводу, розташованого на відкритому повітрі на підвісних опорах у межах м. Києва. Зовнішній діаметр паропроводу $d = 219$ мм, його довжина $L = 100$ м, температура пари $t_w = 200$ °С.

Ізоляційний шар виконується з мат із скляного штапельного волокна на синтетичному зв'язуючому, ГОСТ 10499–78, марки МС-50. Покривний шар теплоізоляційної конструкції – тонколистова сталь, пофарбована алюмінієвою фарбою. Задана (допустима) величина теплового потоку становить 20 кВт.

Для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м для визначення товщини теплоізоляційного шару використовуємо формулу (5.6).

Оскільки паропровід виготовлено із сталі, то термічний лінійний опір $r_m = 0$.

Коефіцієнт тепловіддачі α_e від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища для даного паропроводу (розташування на повітрі з покривним шаром, який має низький коефіцієнт випромінювання (тонколистова сталь, пофарбована алюмінієвою фарбою)) становить 6 Вт/(м²·К) (див. табл. Ж1).

Розрахункова температура оточуючого середовища t_e становить 7,2 °С (див. п. 5.3.4 і приклад 1).

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі, становить (див. примітку до табл. А.1):

– улітку

$$t_m = (t_w + 40)/2 = (200 + 40)/2 = 120 \text{ °С.}$$

– узимку

$$t'_m = t_w/2 = 200/2 = 100 \text{ °С.}$$

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару в конструкції (див. табл. А1):

– улітку

$$\lambda_k = 0,042 + 0,00028 t_m = 0,042 + 0,00028 \cdot 120 = 0,0756 \text{ Вт/(м·К);}$$

– узимку

$$\lambda'_k = 0,042 + 0,00028 t'_m = 0,042 + 0,00028 \cdot 100 = 0,07 \text{ Вт/(м·К).}$$

Оскільки $\lambda_k > \lambda'_k$, то подальші розрахунки здійснюємо тільки для літніх умов $\lambda_k = 0,0756$ Вт/(м·К).

Опір теплопередачі на 1 м теплоізоляційної конструкції

$$R_{tot} = \frac{(t_w - t_e) l K_{red}}{Q} = \frac{(200 - 7,2) 100 \cdot 1,05}{20000} = 1,011 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де K_{red} – коефіцієнт, який враховує додатковий потік теплоти крізь опори (див. табл. 5.4).

Відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару до зовнішнього діаметра ізоляційного об'єкта (див. формулу (5.7))

$$B = \exp \left(2\pi\lambda_k \left[r_{tot} - r_m - \frac{1}{\alpha_e \pi(d + 0,1)} \right] \right) = \\ = \exp \left(2\pi \cdot 0,0756 \left[1,011 - 0 - \frac{1}{6\pi(0,219 + 0,1)} \right] \right) = 1,494.$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_k = \frac{d}{2}(B - 1) = \frac{0,219}{2}(1,494 - 1) = 0,054 \text{ м.}$$

Товщину теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мат із скляного штапельного волокна становить 1,6 (див. табл. 5.2).

Тоді за формулою (5.1) товщина δ_1

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,054 \cdot 1,6 \frac{0,219 + 0,054}{0,219 + 2 \cdot 0,054} = 0,054 \cdot 1,336 = 0,072 \text{ м.}$$

Згідно з табл. 2.3 виконавча товщина теплоізоляційного шару для ізолювання корпусу апарата становить 80 мм.

5.4.3. Приклади розрахунку товщини теплоізоляційного шару, що забезпечує задану температуру на поверхні ізоляції

Приклад 5. Визначити товщину теплоізоляційного шару апарата за даними прикладу 1. Для заізольованого об'єкта, розташованого на відкритому повітрі, за металевого покривного шару температура поверхні ізоляції t_i має бути 55 °С (див. п. 5.2).

Коефіцієнт тепловіддачі α_e від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища для даного ізольованого об'єкта (розташованого на відкритому повітрі з покривним шаром, який має низький коефіцієнт випромінювання (тонколистова оцинкована сталь)) становить 6 Вт/(м²·К) (див. табл. Ж.1).

Розрахункова температура оточуючого середовища t_e у цьому випадку дорівнює середній температурі найбільш жаркого місяця року. Для Києва вона становить 25,6 °С (див. табл. 5.6).

Середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розташованих на відкритому повітрі, становить (див. примітку до табл. А.1) у літній період становить

$$t_m = (t_w + 40)/2 = (200 + 40)/2 = 120 \text{ °С.}$$

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару в конструкції в літній період становить (див. табл. А.1)

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 t_m = 0,049 + 0,0002 \cdot 120 = 0,073 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

Товщину теплоізоляційного шару ізолюваного об'єкта діаметром 2 м і більше визначаємо за формулою (5.19)

$$\delta_k = \frac{\lambda_k(t_w - t_i)}{\alpha_e(t_i - t_e)} = \frac{0,073(200 - 55)}{6(55 - 25,6)} = 0,06 \text{ м.}$$

Товщина теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізолювану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мінераловатних прошивних мат становить 1,2 (див. табл. 5.2).

Тоді за формулою (5.1) товщина δ_1

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,06 \cdot 1,2 \frac{2,224 + 0,06}{2,224 + 2 \cdot 0,06} = 0,06 \cdot 1,169 = 0,07 \text{ м.}$$

Згідно з табл. 2.3 виконавча товщина теплоізоляційного шару для ізолювання корпусу апарата становить 80 мм.

Приклад 6. Визначити товщину теплоізоляційного шару кожухотрубного теплообмінника за даними прикладу 2.

Для заізолюваного об'єкта, розташованого в приміщенні, за температури речовини понад 100 °С температура на поверхні ізоляції t_i становить 45 °С (див. п. 5.2).

Коефіцієнт тепловіддачі α_e від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища для даного заізолюваного об'єкта (розташованого в приміщенні з покривним шаром, який має високий коефіцієнт випромінювання (тонколистова сталь, пофарбована оливною фарбою)) становить 11 Вт/(м²·К) (див. табл. Ж.1).

Визначимо товщину теплоізоляційного шару корпусу апарата.

Для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м для визначення товщини теплоізоляційного шару використовуємо формулу (5.20).

Визначення величин t_m , t_e , λ_k для корпусу апарата (речовина – у міжтрубному просторі) – див. приклад 2.

Товщина теплоізоляційного шару ізолюваного корпусу теплообмінника визначаємо за формулою (5.6), де відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару до зовнішнього діаметра ізолюваного об'єкта обчислюється за формулою (5.20)

$$B \ln B = \frac{2\lambda_k(t_w - t_i)}{\alpha_e d(t_i - t_e)} = \frac{2 \cdot 0,0756(200 - 45)}{11 \cdot 0,816(45 - 20)} = 0,104.$$

Для знаходження значення величини B запишемо останнє рівняння у виді $B = \exp(0,104/B)$ і скористуємося методом ітерації. Для цього, задаючись початковим значенням величини B (див. табл. И.1), обчислюють нове значення величини B і так повторюють доти, поки два послідовно одержаних значення B не будуть відрізнятися одне від одного не більше, ніж на 5 %. Розв'язуючи вказане рівняння таким чином, одержуємо $B = 1,099$.

Тоді товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \frac{d}{2}(B - 1) = \frac{0,816}{2}(1,099 - 1) = 0,0404 \text{ м.}$$

Товщину теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мат із скляного штапельного волокна становить 1,6 (див. табл. 5.2).

Тоді за формулою (5.1) товщина δ_1

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,0404 \cdot 1,6 \frac{0,816 + 0,0404}{0,816 + 2 \cdot 0,0404} = 0,0404 \cdot 1,528 = 0,062 \text{ м.}$$

Згідно з табл. 2.3 виконавча товщина теплоізоляційного шару для ізолювання корпусу апарата становить 80 мм.

Тепер визначимо товщину теплоізоляційного шару днищ апарата.

Середня температура теплоізоляційного шару днищ апарата, розташованого у приміщенні, становить (див. примітку до табл. А.1)

$$t_m = (t'_w + 40)/2 = (140 + 40)/2 = 90 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару в конструкції (див. табл. А.1)

$$\lambda_k = 0,042 + 0,00028 t_m = 0,042 + 0,00028 \cdot 90 = 0,0672 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К).}$$

Внутрішній радіус еліптичного днища в його вершині згідно з ГОСТ 6533–78 дорівнює внутрішньому діаметру обичайки корпусу, тобто 0,8 м. Отже, діаметр зовнішньої поверхні вершини днища становить 1,608 м, а тому для визначення товщини теплоізоляційного шару днища можна використати формулу (5.19)

$$\delta_k = \frac{\lambda_k(t_w + t_i)}{\alpha_e(t_i - t_e)} = \frac{0,0672(140 - 45)}{11(45 - 20)} = 0,023 \text{ м.}$$

Товщину теплоізоляційного виробу δ_1 з матеріалів, що ущільнюються, до встановлення на ізольовану поверхню визначаємо з урахуванням коефіцієнта ущільнення K_c , який для мат із скляного штапельного волокна становить 1,6 (див. табл. 5.2).

Тоді за формулою (5.1) товщина δ_1

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,023 \cdot 1,6 \frac{1,608 + 0,023}{1,608 + 2 \cdot 0,023} = 0,023 \cdot 1,578 = 0,036 \text{ м.}$$

Згідно з табл. 2.3 виконавча товщина теплоізоляційного шару для ізолювання корпусу апарата становить 40 мм.

5.4.4. Приклад розрахунку товщини теплоізоляційного шару за заданим часом призупинення руху рідини в трубопроводі з метою запобігання її замерзання

Приклад 7. Визначити товщину теплоізоляційного шару з мінераловатних мат марки 125 згідно з ГОСТ 21880–86 трубопроводу з бензолом, який розташовано на відкритому повітрі в межах м. Києва, виходячи з можливого призупинення руху бензолу протягом $Z = 8$ год.

Трубопровід виготовлено зі сталевих труб (сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 5632–72) зовнішнім діаметром $d = 0,108$ м і товщиною стінки $0,005$ м і встановленого на рухомих опорах. Температура бензолу $t_w = 20$ °С. Покривний шар теплоізоляційної конструкції – ізол, ГОСТ 10296–79.

Товщину теплоізоляційного шару циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м визначають за формулою (5.6).

Питомий опір теплопередачі обчислюється за формулою (5.17)

$$r_{tot} = \frac{3,6 Z K_{red}}{\frac{2(t_w - t_{wz})(V'_w \rho_w c_w + V'_m \rho_m c_m)}{t_w + t_{wz} - 2t_e} + \frac{0,25 V'_w \rho_w r_w}{t_{wz} - t_e}},$$

де Z – заданий час призупинення руху рідини, год; K_{red} – коефіцієнт, що враховує додатковий потік теплоти крізь опори (згідно з п. 5.3.1 $K_{red} = 1,2$); t_{wz} – температура замерзання речовини в трубопроводі (для бензолу $t_{wz} = 5,51$ °С [14]); V'_w і V'_m – приведені об'єми речовини й матеріалу трубопроводу до метра довжини, м³/м; ρ_w і ρ_m – густина речовини й матеріалу трубопроводу, відповідно, кг/м³ (ρ_w – середня густина в інтервалі температур $[t_{wz}; t_w]$, а ρ_m – за температури t_w) [1, 20]; c_w і c_m – масова теплоємність речовини й матеріалу трубопроводу, відповідно, кДж/(кг·К) [1, 20]; r_w – питома теплота замерзання (тверднення) рідкої речовини, кДж/кг (для бензолу $r_w = 125,94$ кДж/кг [14, 20]); t_e – середня температура найбільш холодної п'ятиденки, °С (згідно з табл. 5.6 для Києва із забезпеченістю 0,98 $t_e = -25$ °С).

Приведений об'єм речовини в трубопроводі

$$V'_w = \frac{\pi d_{int}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,098^2}{4} = 0,00754 \text{ м}^3/\text{м},$$

де d_{int} – внутрішній діаметр трубопроводу, м.

Приведений об'єм матеріалу трубопроводу

$$V'_m = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_{int}^2) = \frac{\pi}{4}(0,108^2 - 0,098^2) = 0,00162 \text{ м}^3/\text{м}.$$

Тоді питомий опір теплопередачі становить

$$\begin{aligned} r_{tot} &= \frac{3,6 Z K_{red}}{\frac{2(t_w - t_{wz})(V'_w \rho_w C_w + V'_m \rho_m C_m)}{t_w + t_{wz} - 2t_e} + \frac{0,25 V'_w \rho_w r_w}{t_{wz} - t_e}} = \\ &= \frac{3,6 \cdot 8 \times}{\frac{2(20 - 5,51)(0,00754 \cdot 894 \cdot 1,66 + 0,00162 \cdot 7900 \cdot 0,462)}{20 + 5,51 - (-25)} + \dots} \rightarrow \\ &\rightarrow \dots \frac{\times 1,2}{\frac{0,25 \cdot 0,00754 \cdot 894 \cdot 125,94}{5,51 - (-25)}} = 2,061 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт}. \end{aligned}$$

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару для поверхонь з температурою 19 °С і нижче становить 0,059 Вт/(м·К) (див. примітки до табл. А.1).

Знаходимо товщину теплоізоляційного шару (див. формулу (5.7))

$$\begin{aligned} B &= \exp \left(2\pi \lambda_k \left[r_{tot} - r_m - \frac{1}{\alpha_e \pi (d + 0,1)} \right] \right) = \\ &= \exp \left(2\pi \cdot 0,059 \left[2,061 - 0 - \frac{1}{29\pi (0,108 + 0,1)} \right] \right) = 2,105, \end{aligned}$$

де $r_m = 0$, оскільки трубопровід виготовлено металевим; α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища, Вт/(м²·К); для покривних шарів з високим коефіцієнтом випромінювання та розташуванням ізольованого горизонтального трубопроводу на відкритому повітрі $\alpha_e = 29$ Вт/(м²·К) (див. табл. Ж.1).

$$\delta_k = \frac{d}{2}(B - 1) = \frac{0,108}{2}(2,105 - 1) = 0,06 \text{ м}.$$

З урахуванням ущільнення мат під час ізолювання розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становить

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2 \cdot \delta_k} = 0,06 \cdot 1,2 \frac{0,108 + 0,06}{0,108 + 2 \cdot 0,06} = 0,06 \cdot 0,884 \approx 0,06 \cdot 1 = 0,06 \text{ м},$$

де K_c – коефіцієнт ущільнення (див. табл. 5.3 і примітку 2 до цієї ж таблиці).

Остаточно згідно з табл. 2.3 виконавчу товщину теплоізоляційного шару беремо рівною 60 мм.

Примітка. Приклади розрахунку деяких спеціальних випадків ізольованих об'єктів (високотемпературних об'єктів, які мають внутрішню ізоляцію або футеровку; об'єктів, які

мають теплоізоляційну конструкцію з повітряними прошарками; трубопроводів підземної прокладки та ін.) наводяться, наприклад, у монографії [17].

Для визначення товщини теплоізоляційного шару за будь-яких умов необхідно враховувати примітку в кінці п. 5.3.3.

5.4.5. Приклад розрахунку товщини теплоізоляційного шару з метою запобігання конденсації вологи з оточуючого середовища на покривному шарі теплової ізоляції об'єктів, що містять речовини з температурою нижче температури оточуючого середовища й розташуванні у приміщенні

Приклад 8. Визначити товщину теплоізоляційного шару з мат базальтових марки БЗМ, 1977–87, трубопроводу з холодоагентом, температура якого $t_w = -50$ °С.

Трубопровід виготовлено із сталевих труб (сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 5632–72) зовнішнім діаметром $d = 219$ мм і товщиною стінки 8 мм і встановлено на підвісних опорах у приміщенні. Покривний шар теплоізоляційної конструкції – склопластик рулонний РСТ, ТУ 6-11-145–80 товщиною 0,25 мм. Відносна вологість оточуючого повітря $\phi = 80$ %.

Товщину теплоізоляційного шару циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м визначають за формулою (5.6), де величину B обчислюють за формулою (5.22)

$$B \ln B = \frac{2\lambda_k}{\alpha_e d} \left(\frac{t_e - t_w}{t_e - t_i} - 1 \right).$$

Температуру оточуючого повітря t_e беруть згідно з технічним завданням на проектування, а за відсутності даних про неї – $t_e = 20$ °С (див. п. 5.2.4).

Розрахунковий перепад температур $t_e - t_i$, °С, беруть згідно з табл. 5.6 (за температури $t_e = 20$ °С і $\phi = 80$ %).

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища α_e , Вт/(м²·К); для покривних шарів з високим коефіцієнтом випромінювання та розташуванням ізольованого об'єкта у приміщенні $\alpha_e = 7$ Вт/(м²·К) (див. табл. Ж.1).

Середня температура теплоізоляційного шару становить (див. примітку до табл. А.1)

$$t_m = (t_w + 40)/2 = (-50 + 40)/2 = -5$$
 °С,

тоді коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару дорівнює

$$\lambda_k = 0,04 + 0,0003t_m = 0,04 + 0,0003 \cdot (-5) = 0,0385 \text{ Вт/(м·К)}.$$

Тоді

$$B \ln B = \frac{2\lambda_k}{\alpha_e d} \left(\frac{t_e - t_w}{t_e - t_i} - 1 \right) = \frac{2 \cdot 0,0385}{6 \cdot 0,219} \left(\frac{20 - (-50)}{3,6} - 1 \right) = 1,081.$$

Запишемо попереднє рівняння у вигляді $B = \exp(1,081/B)$, задамося приблизно значенням величини B (згідно з табл.И.1 $B \approx 1,8$) і методом ітерацій остаточно обчислимо шукане значення B : $B = 1,814$.

Тоді товщина теплоізоляційного шару становить

$$\delta_k = \frac{d}{2}(B - 1) = \frac{0,219}{2}(1,814 - 1) = 0,089 \text{ м.}$$

З урахуванням ущільнення мат під час ізолювання розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становить

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,089 \cdot 1,5 \frac{0,219 + 0,089}{0,219 + 2 \cdot 0,089} = 0,089 \cdot 1,164 = 0,104 \text{ м,}$$

де K_c – коефіцієнт ущільнення (див. табл. 5.2; беремо середню густину мат 56 кг/м³).

Остаточно згідно з табл. 2.3 виконавчу товщину теплоізоляційного шару беремо рівною 120 мм.

5.4.6. Приклад розрахунку товщини теплоізоляційного шару за заданою величиною охолодження (нагрівання) речовини, що зберігається в ємкостях протягом певного часу

Приклад 9. Визначити товщину теплоізоляційного шару з плит теплоізоляційних з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому, ГОСТ 9573–82, марки 125, посудини внутрішнім діаметром $d_{int} = 3,0$ м і товщиною стінки 0,016 м, виготовленої зі сталевих прокату (сталь марки Ст3пс2, ГОСТ 380–2005) і встановленої у приміщенні. Посудину заповнено водою, початкова температура води $t_{w1} = 90$ °С, кінцева – $t_{w2} = 70$ °С, заданий час зберігання води $Z = 48$ год. Днища посудини – плоскі, товщина днищ 0,02 м, довжина корпусу посудини $L = 12$ м. Покривний шар теплоізоляційної конструкції – скло-текстоліт покривний листовий СТПЛ, ТУ 36-1583–88, марки СТПЛ-ТБ.

Товщину теплоізоляційного шару циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше визначають за формулою (5.3).

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції обчислюють за формулою (5.13)

$$R_{tot} = \frac{3,6(t_{wm} - t_e)Z A K_{red}}{(V_m \rho_m c_m + V_w \rho_w c_w)(t_{w1} - t_{w2})},$$

де A – тепловіддавальна поверхня заізолюваного об’єкта, м^2 : беручи як попереднє значення виконавчої товщини теплоізоляційного шару корпусу й днища величину 40 мм, отримуємо

$$A = A_{hj} + 2A_{jb} = A_{h1}L + 2\frac{\pi d^2}{4} = 9,7 \cdot 12 + 2\frac{\pi \cdot 3,032^2}{4} = 130,84 \text{ м}^2,$$

A_k – тепловіддавальна поверхня заізолюваного корпусу апарата, м^2 ; A_{k1} – тепловіддавальна поверхня одного метра довжини заізолюваного корпусу апарата, м^2 (табл. 3.2); A_d – тепловіддавальна поверхня ізолюваного днища апарата, м^2 (табл. 3.3); K_{red} – коефіцієнт, що враховує додатковий потік теплоти крізь опори (згідно з п. 5.3.1 $K_{red} = 1,1$); t_{wm} – середня температура речовини, $^{\circ}\text{C}$; згідно з п. 5.3.5 беремо $t_{wm} = (t_{w1} + t_{w2})/2 = (90 + 70)/2 = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$; V_m – об’єм стінки й днищ посудини, м^3 ; V_w – об’єм речовини в посудині, м^3 ; ρ_m – густина матеріалу стінки й днища посудини за температури t_{wm} , $\text{кг}/\text{м}^3$ [1, 14, 20]; ρ_w – густина речовини в посудині відповідно за температури t_{wm} , $\text{кг}/\text{м}^3$ [1, 13, 19]; c_m – масова теплоємність матеріалу стінки й днищ посудини за температури t_{wm} , $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ [1, 14, 20]; c_w – масова теплоємність речовини за температури t_{wm} , $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ [1, 14, 20].

Об’єм речовини (води) в посудині

$$V_w = \frac{\pi d_{int}^2}{4} L = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} 12 = 84,823 \text{ м}^3.$$

Об’єм стінки й днищ посудини

$$V_m = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_{int}^2)L + 2\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4}(3,032^2 - 3^2)12 + 2\frac{\pi \cdot 3,032^2}{4} 0,02 = 2,108 \text{ м}^3.$$

Тоді опір теплопередачі становить

$$R_{tot} = \frac{3,6(t_{wm} - t_e)Z A K_{red}}{(V_m \rho_m c_m + V_w \rho_w c_w)(t_{w1} - t_{w2})} =$$

$$= \frac{3,6(80 - 20)48 \cdot 130,84 \cdot 1,1}{(2,108 \cdot 7851 \cdot 0,482 + 84,823 \cdot 965 \cdot 4,19)(90 - 70)} = 0,218 \text{ м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}.$$

Термічний опір теплоізоляційної конструкції

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 0,218 - \frac{1}{12} - 0 = 0,135 \text{ м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}.$$

де α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; для покривних шарів з високим коефіцієнтом випромінювання та розташуванням ізолюваного об’єкта у приміщенні $\alpha_e = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ (див. табл. Ж.1); R_m – термічний опір неметалевої стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$.

$$\delta_k = \lambda_k R_k = 0,06226 \cdot 0,135 = 0,0084 \text{ м},$$

де λ_k – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару Вт/(м·К), який визначається за його середньої температури (див. примітку до табл. А1)

$$t_m = (t_w + 40)/2 = (80 + 40)/2 = 60 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\lambda'_k = 0,044 + 0,00021t_m = 0,044 + 0,00021 \cdot 60 = 0,0566 \text{ Вт/(м·К)};$$

у зв'язку з тим, що в теплоізоляційній конструкції застосовуються жорсткі плити (див. примітку до табл. А.1) розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності збільшуємо на 10 %

$$\lambda_k = 1,1\lambda'_k = 1,1 \cdot 0,0566 = 0,06226 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}.$$

З урахуванням ущільнення плит під час ізолювання розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становить:

а) стінки посудини

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,084 \cdot 1,2 \frac{3,032 + 0,084}{3,032 + 2 \cdot 0,084} = 0,084 \cdot 1,197 = 0,01 \text{ м},$$

де K_c – коефіцієнт ущільнення (див.табл.5.2);

б) днищ посудини

$$\delta_2 = \delta_k K_c = 0,084 \cdot 1,2 = 0,01 \text{ м}.$$

Остаточно згідно з табл. 2.3 виконавчу товщину теплоізоляційного шару посудини беремо 40 мм.

Примітка. Якщо б остаточне значення виконавчої товщини теплоізоляційного шару відрізнялося б від прийнятої, то необхідно було б повторити розрахунки, починаючи з визначення величини A (тепловіддавальної поверхні заізолюваного об'єкта).

5.4.7. Приклад розрахунку товщини теплоізоляційного шару за заданим зниженням (підвищенням) температури речовини, транспортованої трубопроводами

Приклад 10. Визначити товщину теплоізоляційного шару з мінераловатних мат марки 125, ГОСТ 21880–86, горизонтального трубопроводу з водою, розташованого на відкритому повітрі в межах м. Києва. Трубопровід виготовлено зі сталевих труб (сталь марки Ст3пс2, ГОСТ 380–2005) зовнішнім діаметром $d = 0,325$ м і встановленого на підвісних опорах. Довжина трубопроводу $l = 200$ м.

Масова витрата води $G_w = 5000$ кг/год, початкова температура $t_{w1} = 90$ °С, кінцева – $t_{w2} = 85$ °С. Покривний шар теплоізоляційної конструкції – руберойд, ГОСТ 10923–82, марка РКК-420.

Товщину теплоізоляційного шару циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м визначають за формулою (5.6).

Перевіряємо виконання застосування формул (5.14) і (5.15)

$$\frac{t_{w1} - t_e}{t_{w2} - t_e} = \frac{90 - (-25)}{80 - (-25)} = 1,095,$$

де t_e – середня температура найбільш холодної п'ятиденки, °С (згідно з табл. 5.6 для Києва із забезпеченістю 0,98 ця температура $t_e = -25$ °С).

Значення вказаного відношення температур (1,095) менше двох, тому питомий опір теплопередачі обчислюється за формулою (5.15)

$$r_{tot} = \frac{3,6(t_{wm} - t_e)l K_{red}}{G_w c_w (t_{w1} - t_{w2})},$$

де t_{wm} – середня температура речовини, °С; згідно з п. 5.2.5 беремо $t_{wm} = (t_{w1} + t_{w2})/2 = (90 + 85)/2 = 87,5$ °С; K_{red} – коефіцієнт, що враховує додатковий потік теплоти крізь опори (згідно з табл. 5.4 $K_{red} = 1,05$); c_w – теплоємність речовини, кДж/(кг·К), визначається за температури $t_{wm} = 87,5$ °С [14, 20].

Тоді питомий опір теплопередачі становить

$$r_{tot} = \frac{3,6(t_{wm} - t_e)l K_{red}}{G_w c_w (t_{w1} - t_{w2})} = \frac{3,6 \cdot 200 \cdot 1,05(87,5 - (-25))}{5000 \cdot 4,19(90 - 85)} = 0,812 \text{ м·К/Вт.}$$

Знаходимо товщину теплоізоляційного шару (див. формулу (5.7))

$$B = \exp \left(2\pi \lambda_k \left[r_{tot} - r_m - \frac{1}{\alpha_e \pi (d + 0,1)} \right] \right) = \\ = \exp \left(2\pi \cdot 0,0542 \left[0,812 - 0 - \frac{1}{29 \cdot \pi (0,325 + 0,1)} \right] \right) = 1,307,$$

де $r_m = 0$, тому, що трубопровід виготовлено металевим;

α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища, Вт/(м²·К); для покривних шарів з високим коефіцієнтом випромінювання та розташуванням ізолюваного горизонтального трубопроводу на відкритому повітрі $\alpha_e = 29$ Вт/(м²·К) (див. табл. Ж.1);

λ_k – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару Вт/(м·К), який визначається за температури $t_m = t_{wm}/2 = 87,5/2 = 43,75$ °С (див. примітку до табл. А.1):

$$\lambda_k = 0,045 + 0,00021 t_m = 0,045 + 0,00021 \cdot 43,75 = 0,0542 \text{ Вт/(м·К);}$$

$$\delta_k = \frac{d}{2} (B - 1) = \frac{0,325}{2} (1,307 - 1) = 0,05 \text{ м.}$$

З урахуванням ущільнення мат під час ізолювання розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становить

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2 \delta_k} = 0,05 \cdot 1,2 \frac{0,325 + 0,05}{0,325 + 2 \cdot 0,05} = 0,0388 \cdot 1,059 = 0,053 \text{ м,}$$

де K_c – коефіцієнт ущільнення (див. табл. 5.2).

Остаточну згідно з табл. 2.3 виконавчу товщину теплоізоляційного шару беремо рівною 60 мм.

6. ДЕЯКІ ІНЖЕНЕРНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

6.1. Критичний діаметр циліндричного заізольованого об'єкта

В окремих випадках теплова ізоляція не тільки не знижує тепловтрати, але й може збільшити їх. Це стосується об'єктів, у яких внутрішня й зовнішня поверхні різні, і насамперед об'єктів циліндричної форми, наприклад, трубопроводів і технологічного обладнання.

Розглянемо вплив зміни зовнішнього діаметра однорідної циліндричної стінки на її термічний опір [4, 12].

Опір теплопередачі на один метр довжини (лінійний термічний опір теплопередачі) циліндричної стінки можна знайти, використовуючи формулу, традиційну для теплопередачі [4, 7, 11]

$$r_l = \frac{1}{\alpha_{int} d_{int}} + \frac{1}{2\lambda_m} \ln \frac{d}{d_{int}} + \frac{1}{\alpha_e d}. \quad (6.1)$$

За постійних значень α_{int} , d_{int} , λ_m і α_e величина r_l буде залежати від зовнішнього діаметра стінки d .

З рівняння (6.1) виходить, що за цих умов термічний опір тепловіддачі з внутрішнього боку циліндричної стінки є величиною сталою: $r_{l_{int}} = 1/(\alpha_{int} d_{int}) = \text{const}$.

Термічний опір теплопровідності $r_{l_k} = \frac{1}{2\lambda_m} \ln \frac{d}{d_{int}}$ із збільшенням d зростатиме, а термічний опір тепловіддачі із зовнішнього боку циліндричної стінки $r_{l_e} = 1/(\alpha_e d)$ зменшуватиметься. Очевидно, що лінійний термічний опір визначатиметься характером змінювання складових r_{l_k} і r_{l_e} (рис. 6.1).

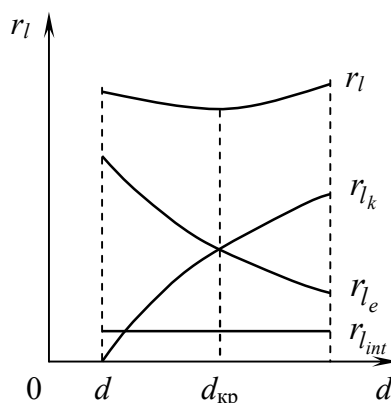


Рис. 6.1. Залежність термічного опору однорідної циліндричної стінки від зовнішнього діаметра

Для визначення характеру змінювання r_l від d візьмемо похідну $d(r_l)/d(d)$ і прирівняємо її нулю

$$\frac{d(r_l)}{d(d)} = \frac{1}{2\lambda_m d} - \frac{1}{\alpha_e d^2} = 0. \quad (6.2)$$

Значення d_2 з (6.2) відповідає екстремальній точці функції $r_l = f(d)$. Дослідивши цю функцію на максимум і мінімум, можна отримати, що в екстремальній точці має місце мінімум, тобто за діаметра, що дорівнює $d = 2\lambda_m/\alpha_e$, термічний опір теплопередачі буде мінімальним.

Значення зовнішнього діаметра циліндричного об'єкта, що відповідає мінімальному лінійному термічному опору теплопередачі, називають *критичним діаметром* $d_{кр}$

$$d_{кр} = 2\lambda_m/\alpha_e. \quad (6.3)$$

За $d < d_{кр}$ із збільшенням d лінійний термічний опір теплопередачі знижується, тому що збільшення зовнішньої поверхні чинить на термічний опір більший вплив, ніж збільшення товщини стінки, а для $d > d_{кр}$ із збільшенням d лінійний термічний опір теплопередачі зростає, що вказує на домінуючий вплив стінки.

Ці міркування необхідно враховувати під час вибору теплової ізоляції циліндричних посудин, апаратів і трубопроводів.

Розглянемо критичний діаметр теплової ізоляції, що покриває зовні циліндричну стінку (рис. 6.2).

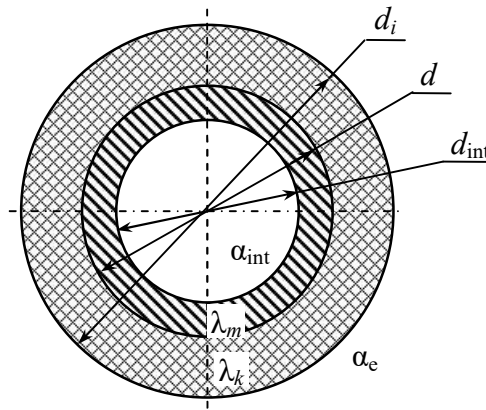


Рис. 6.2. До визначення критичного діаметра теплової ізоляції

Лінійний термічний опір теплопередачі для такої стінки становить

$$r_l = \frac{1}{\alpha_{int} d_{int}} + \frac{1}{2\lambda_m} \ln \frac{d}{d_{int}} + \frac{1}{2\lambda_k} \ln \frac{d_i}{d} + \frac{1}{\alpha_e d_i}. \quad (6.4)$$

З рівняння лінійної густини теплового потоку $q_l = \pi \Delta t / r_l$ (тут Δt — температурний напір) виходить, що за умови збільшення зовнішнього діаметра

ізоляції d_i величина q_l спочатку зростатиме і за умови $d_i = d_{кр_\mu}$ матиме місце максимум q_l . За подальшого збільшення зовнішнього діаметра ізоляції d_i величина q_l знижуватиметься (рис. 6.3).

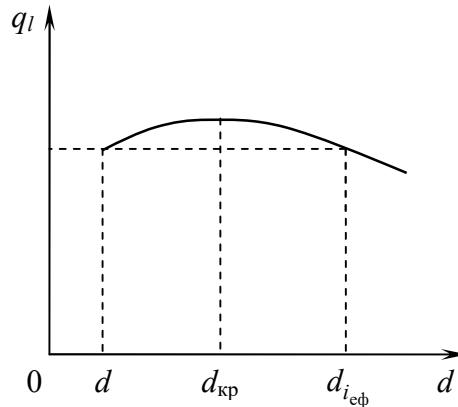


Рис. 6.3. Залежність теплових втрат від зовнішнього діаметра теплової ізоляції, що покриває зовні циліндричну стінку

Під час вибору теплоізоляційного матеріалу для покриття циліндричної поверхні спочатку потрібно визначити критичний діаметр ізоляції

$$d_{кр_i} = 2\lambda_k / \alpha_e. \quad (6.5)$$

Якщо отримане значення $d_{кр_i}$ більше зовнішнього діаметра циліндричної стінки d , то використання вибраного матеріалу як теплової ізоляції нецільно. У цьому випадку в області $d < d_i < d_{кр_i}$ за умови збільшення діаметра d_i , тобто товщини ізоляції, буде мати місце збільшення тепловтрат (див. рис. 6.3). І тільки за умови $d_i = d_{іеф}$ теплові втрати знову стануть такими самими, як для стінки без теплоізоляції. Отже, шар теплової ізоляції завтовшки $\delta = d_{іеф} - d$ не виправдовуватиме свого призначення.

Таким чином, для ефективної роботи теплової ізоляції необхідно, щоб виконувалася нерівність $d_{кр_i} \leq d$.

Приклад. Трубопровід із зовнішнім діаметром 108 мм необхідно покрити тепловою ізоляцією. Коефіцієнт тепловіддачі з поверхні ізолюваної стінки в оточуюче середовище $\alpha_e = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Чи доцільно як ізолювальний матеріал у цьому випадку використовувати: 1) шнур теплоізоляційний з мінеральної вати з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{кш} = 0,08 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; 2) вапняну штукатурку з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{квш} = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$?

У разі використання шнура як теплоізоляційного матеріалу критичний діаметр ізоляції становить

$$d_{кр_{iш}} = \frac{2\lambda_{kш}}{\alpha_e} = \frac{2 \cdot 0,08}{6} = 0,0267 \text{ м},$$

а в разі використання вапняної штукатурки

$$d_{кр_{iвш}} = \frac{2\lambda_{kвш}}{\alpha_e} = \frac{2 \cdot 0,7}{6} = 0,233 \text{ м}.$$

Отже, $d_{кр_{iш}} < d$ і шнур з мінеральної вати доцільно використовувати як теплоізоляційний матеріал, а вапняну штукатурку – ні ($d_{кр_{iвш}} > d$, де $d = 108 \text{ мм}$).

6.2. Вплив розташування шарів теплової ізоляції на величину теплового потоку крізь теплоізольовану стінку

Якщо стінка має два й більше шарів теплової ізоляції, виконаних з різних матеріалів, лінійна густина теплового потоку залежить від розташування ізоляційних шарів [12].

Розглянемо циліндричну стінку з двома шарами теплової ізоляції (рис. 6.4). Для визначення оптимального розташування шарів ізоляції порівняємо два випадки: 1) матеріал першого шару ізоляції (внутрішнього, або ближнього до стінки) має коефіцієнт теплопровідності λ_{k1} , а матеріал другого шару (зовнішнього, або дальшого від стінки) – λ_{k2} ;

2) матеріал першого шару ізоляції має коефіцієнт теплопровідності λ_{k2} , а матеріал другого шару – λ_{k1} .

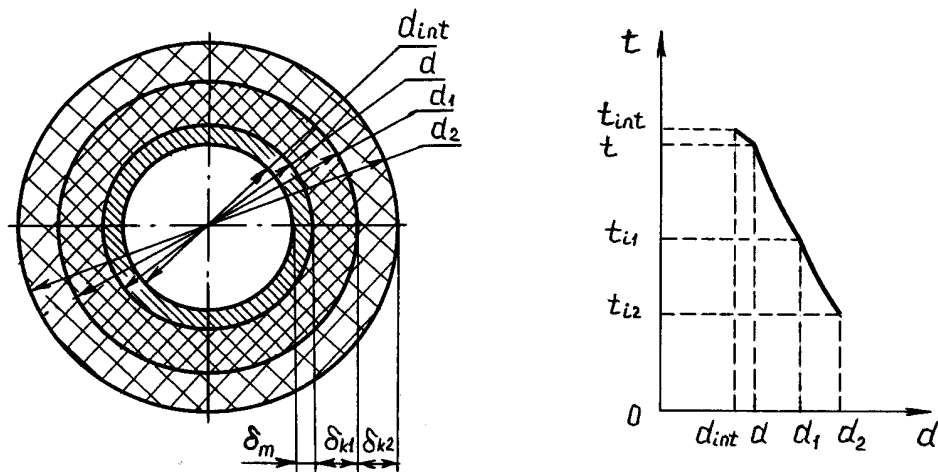


Рис. 6.4. Схема циліндричної стінки з двома шарами теплової ізоляції

Лінійна густина теплового потоку:
– для першого випадку

$$q_{l_1} = \frac{2\pi(t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{d}{d_{int}} + \frac{1}{\lambda_{k1}} \ln \frac{d_1}{d} + \frac{1}{\lambda_{k2}} \frac{d_2}{d_1}}; \quad (6.6)$$

– для другого випадку

$$q_{l_2} = \frac{2\pi(t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{d}{d_{int}} + \frac{1}{\lambda_{k2}} \ln \frac{d_1}{d} + \frac{1}{\lambda_{k1}} \frac{d_2}{d_1}}. \quad (6.7)$$

Розглянемо умови, за яких

$$q_{l_2} < q_{l_1}. \quad (6.8)$$

(при цьому значення решти величин у рівняннях (6.6) і (6.7) однакові).

Чисельники правих частин обох рівнянь ідентичні, тому умова (6.8) виконуватиметься тоді, коли знаменник рівняння (6.6) буде менше, ніж знаменник рівняння (6.7)

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{d}{d_{int}} + \frac{1}{\lambda_{k1}} \ln \frac{d_1}{d} + \frac{1}{\lambda_{k2}} \frac{d_2}{d_1} &< \frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{d}{d_{int}} + \frac{1}{\lambda_{k2}} \ln \frac{d_1}{d} + \frac{1}{\lambda_{k1}} \frac{d_2}{d_1} \\ \text{або} \left(\frac{1}{\lambda_{k2}} - \frac{1}{\lambda_{k1}} \right) \left(\ln \frac{d_1}{d} - \ln \frac{d_2}{d_1} \right) &> 0. \end{aligned}$$

Умова (6.8) виконується, якщо

$$\frac{d_1}{d} > \frac{d_2}{d_1}, \text{ якщо } \lambda_{k2} < \lambda_{k1}, \quad (6.9)$$

та

$$\frac{d_1}{d} < \frac{d_2}{d_1}, \text{ якщо } \lambda_{k2} > \lambda_{k1}. \quad (6.10)$$

Тоді, з (6.9) і (6.10) випливає: якщо $d_1 > \sqrt{d d_2}$, то для зменшення теплових втрат крізь теплоізолювану стінку як перший шар теплової ізоляції слід застосувати матеріал з більшим коефіцієнтом теплопровідності ($\lambda_{k1} > \lambda_{k2}$), а якщо $d_1 < \sqrt{d d_2}$ – з меншим ($\lambda_{k1} < \lambda_{k2}$).

Значення еквівалентної теплопровідності багат шарової циліндричної стінки визначають з умови рівності лінійної густини теплового потоку в однорідній стінці й даній багат шаровій стінці за однакових загальних товщині й різниці температур

$$\lambda_{\text{екв}} = \frac{\ln \frac{d_n}{d_{int}}}{\frac{1}{\lambda_m} \ln \frac{d}{d_{int}} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\lambda_{k_i}} \ln \frac{d_i}{d_{i-1}} \right)}, \quad (6.11)$$

де n – кількість шарів теплової ізоляції.

У будь-якому разі як перший теплоізоляційний шар багат шарових конструкцій теплоізоляції обладнання і трубопроводів з температурою речовин, що містяться в них, 300 °С і вище допускається застосовувати теплоізоляційні матеріали й вироби з густиною не більше ніж 350 кг/м³ і коефіцієнтом теплопровідності за середньої температури 300 °С і вище не більше 0,12 Вт/(м·К).

Як другий і наступні теплоізоляційні шари багат шарових конструкцій теплоізоляції обладнання і трубопроводів з температурою речовин, що містяться в них, 300 °С і вище для всіх способів прокладки, крім безканалної, потрібно застосовувати теплоізоляційні матеріали й вироби з густиною не більше ніж 200 кг/м³ і коефіцієнтом теплопровідності за середньої температури 125 °С не більше 0,08 Вт/(м·К)*.

6.3. Визначення кількості теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції заізольованого об'єкта

Під час розігрівання посудини, апарата або трубопроводу від початку процесу до встановлення стаціонарного режиму теплові втрати складаються із втрат на акумуляцію теплоти в стінці, а також в ізоляції та втрат в оточуюче середовище. При цьому в міру розігрівання теплові втрати на акумуляцію зменшуються, а втрати в оточуюче середовище збільшуються. По закінченню розігрівання й виходу об'єкта на стаціонарний режим перший вид втрат зникає, а другий – набуває максимальної сталої величини.

Теплові втрати в оточуюче середовище за стаціонарного режиму роботи технологічного обладнання та трубопроводів визначають за методикою, наведеною, наприклад, у підручниках [4, 7, 11], а за нестаціонарного режиму – наприклад, у монографії [17]. При цьому часто потрібно визначити кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції.

Кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції в результаті її нагрівання від початкової температури t'_i до кінцевої t''_i дорівнює різниці ентальпій цієї ізоляції за вказаних температур

$$Q_i = V_i \rho_i (c''_i t''_i - c'_i t'_i), \quad (6.12)$$

де Q_i – кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції, Дж; V_i – об'єм ізоляції, м³; ρ_i – густина ізоляції, кг/м³; c'_i і c''_i – масова теплоємність ізоляції за температури t'_i і t''_i , відповідно, Дж/(кг·К).

Значення масової теплоємності ізоляційних матеріалів залежно від температури наведено в табл. 6.1.

* Такі вимоги ставить зокрема чинний у Російській Федерації СНиП 41-03–2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов», уведений на заміну чинного в Україні СНиП 2.04.14–88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

Таблиця 6.1. Масова теплоємність ізоляційних матеріалів c_i , кДж/(кг·К)

Ізоляційний матеріал	c_i за температури t , °С							Залежність $c_i = f(t)$
	0	100	200	300	400	500	600	
Мінеральна вата	0,775	0,851	0,922	0,976	1,027	1,060	1,085	$0,8+0,0005t_m$
Діатомітові вироби	—	0,834	0,851	0,880	0,918	—	—	$0,8+0,0003t_m$
Перліт	—	0,846	0,930	0,997	1,043	1,089	1,127	$0,88+0,00042t_m$
Перлітобетон, перлітоцемент	—	0,867	0,947	1,006	1,048	1,071	1,102	$0,86+0,00046 t_m$
Вермикуліт	0,725	0,788	0,830	0,872	0,905	0,926	0,939	$0,74+0,00038 t_m$
Вапняно-кремнеземисті вироби, вулканіт	—	0,901	0,985	1,060	1,110	1,152	1,194	$0,88+0,00055 t_m$

Перед нагріванням заізольованого об'єкта теплова ізоляція зазвичай має температуру оточуючого середовища t_e , яку і беруть як початкову температуру t_i' .

Середня кінцева температура ізоляційного шару t_i'' дорівнює температурі t_m і визначається в такий спосіб (див. примітку 1 до табл. А.1), °С:

– на відкритому повітрі в літній час, у приміщенні, у каналах, тунелях, технічних підпідлогових просторах, на горищах і в підвалинах будівель – $t_m = (t_w + 40)/2$;

– на відкритому повітрі в зимовий час – $t_m = t_w/2$,
де t_w – температура речовини.

Під час орієнтовних розрахунків і за відсутності даних про залежність масової теплоємності ізоляційного шару від температури беруть постійне значення величини c_i , тобто $c_i' = c_i'' = c_i$ за температури $t = (t_i' + t_i'')/2$. Тоді залежності для визначення Q_i спрощуються й набувають вигляду:

– для одношарової ізоляції

$$Q_i = V_i \rho_i c_i (t_m - t_e),$$

– для двошарової ізоляції

$$Q_i = V_{i1} \rho_{i1} c_{i1} (t_{m1} - t_e) + V_{i2} \rho_{i2} c_{i2} (t_{m2} - t_e).$$

Приклад. Визначити кількість теплоти, закумульованої від початку розігрівання до досягнення стаціонарного режиму в ізоляції теплообмінного апарата, встановленого в приміщенні. Зовнішній діаметр апарата $d = 1,22$ м, його висота $H = 7,0$ м, днища – еліптичні. Температура стінки $t_w = 500$ °С, температура оточуючого середовища $t_e = 20$ °С.

Апарат заізольований двома шарами мінераловатних прошивних мат марки 125 згідно з ГОСТ 21880–86. Товщина ізоляції $\delta_k = 180$ мм, середня густина конструкції $\rho_i = 160$ кг/м³. Покривний шар теплоізоляційної конструкції – сталь тонколистова оцинкована згідно з ГОСТ 14918–80. Температура на

поверхні ізоляційного шару за стаціонарного режимі $t_1 = 52,5$ °С.

Зовнішній діаметр ізоляційного шару:

$$d_2 = d_1 + 2\delta_i = 1,22 + 2 \cdot 0,18 = 1,58 \text{ м.}$$

Середня температура ізоляційного шару:

$$t_m = (t_w + 40)/2 = (500 + 40)/2 = 270 \text{ °С.}$$

Питома масова теплоємність ізоляції (див. табл. 6.1)

$$c' = 0,8 + 0,0005t_e = 0,8 + 0,0005 \cdot 20 = 0,81 \text{ кДж/(кг·К);}$$

$$c'' = 0,8 + 0,0005t_m = 0,8 + 0,0005 \cdot 270 = 0,935 \text{ кДж/(кг·К).}$$

Об'єм теплоізоляційного шару:

$$V_i = V_{ик} + 2V_{ид} = V'_{ик}H + 2V_{ид} = 0,791 \cdot 7 + 2 \cdot 0,419 = 6,375 \text{ м}^3,$$

де $V_{ик}$ – об'єм ізоляції на циліндричній частині (корпусі) апарата, м^3 ; $V_{ид}$ – об'єм ізоляції на днищі апарата, м^3 (див. табл. 3.3); $V'_{ик}$ – об'єм ізоляції на одному метрі довжини циліндричної частини апарата, м^3 (див. табл. 3.3).

Кількість теплоти, закумульованої ізоляцією:

$$Q_i = V_i \rho_i (c''t''_i - c't'_i) = 6,375 \cdot 160 (0,935 \cdot 270 - 0,81 \cdot 20) = 240975 \text{ кДж.}$$

6.4. Визначення теплових втрат в оточуюче середовище обладнанням і трубопроводами. Визначення температур у тепловій ізоляції

Для визначення теплових втрат в оточуюче середовище заізольованим обладнанням і трубопроводами потрібно перш за все знайти теплові втрати з одиниці заізольованої поверхні за одиницю часу, тобто питомі теплові втрати.

У техніці найчастіше мають місце два випадки.

1) Якщо задані температура стінки заізольованого об'єкта, температура на поверхні ізоляції, товщина й теплопровідність ізоляційного шару, а для циліндричного об'єкта також і його діаметр, то для плоскої стінки й циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше для визначення теплових втрат застосовують формули (6.13)–(6.14) (відповідно для одно- й багатошарової ізоляції), а для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м – формули (6.15)–(6.16):

$$q = \frac{\lambda_k}{\delta_k} (t_{ext} - t_i); \quad (6.13)$$

$$q = \frac{t_{ext} - t_i}{\frac{\delta_{k1}}{\lambda_{k1}} + \frac{\delta_{k2}}{\lambda_{k2}} + \dots + \frac{\delta_{kn}}{\lambda_{kn}}}, \quad (6.14)$$

$$q_l = \frac{2\pi\lambda_k(t_{ext} - t_i)}{\ln \frac{d_i}{d}}; \quad (6.15)$$

$$q_l = \frac{t_{ext} - t_i}{\frac{1}{2\pi\lambda_{k1}} \ln \frac{d_{i1}}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda_{k2}} \ln \frac{d_{i2}}{d_{i1}} + \dots + \frac{1}{2\pi\lambda_{kn}} \ln \frac{d_{in}}{d_{in-1}}}, \quad (6.16)$$

де t_{ext} – температура зовнішньої поверхні заізолюваного об'єкта, °С; t_i – температура зовнішньої поверхні ізоляції, °С; λ_k і λ_{kn} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу одношарової теплоізоляції та коефіцієнт теплопровідності матеріалу n -го шару багатошарової теплоізоляції, Вт/(м·К); δ_k і δ_{kn} – товщина одношарової теплоізоляції й товщина n -го шару багатошарової теплоізоляції, м; d_i і d_{in} – зовнішній діаметр одношарової теплоізоляції й зовнішній діаметр n -го шару багатошарової теплоізоляції, м.

2) Якщо задані температура теплоносія, температура оточуючого середовища, товщина й теплопровідність ізоляційного шару, а для циліндричного об'єкта також і його діаметр, то для плоскої стінки й циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше застосовують формули (6.17)–(6.18), а для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м – формули (6.19)–(6.20):

$$q = \frac{t_w - t_e}{\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{1}{\alpha_e}}, \quad (6.17)$$

$$q = \frac{t_w - t_e}{\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_{k1}}{\lambda_{k1}} + \frac{\delta_{k2}}{\lambda_{k2}} + \dots + \frac{\delta_{kn}}{\lambda_{kn}} + \frac{1}{\alpha_e}}, \quad (6.18)$$

$$q_l = \frac{t_w - t_e}{\frac{1}{\alpha_{int}\pi d_{int}} + \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{d_n}{d} + \frac{1}{\alpha_e\pi d_n}}; \quad (6.19)$$

$$q_l = \frac{t_w - t_e}{\frac{1}{\alpha_{int}\pi d_{int}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{k1}} \ln \frac{d_{i1}}{d} + \frac{1}{2\pi\lambda_{k2}} \ln \frac{d_{i2}}{d_{i1}} + \dots + \frac{1}{2\pi\lambda_{kn}} \ln \frac{d_{in}}{d_{in-1}} + \frac{1}{\alpha_e\pi d_{in}}}, \quad (6.20)$$

де t_w – температура речовини в обладнанні або трубопроводі, °С; t_e – температура оточуючого середовища, °С; α_{int} – коефіцієнт тепловіддачі від речовини до внутрішньої поверхні заізолюваного об'єкта, Вт/(м²·К) (значення розраховують згідно із залежностями, наведеними в навчальній літературі з теплопередачі, наприклад, [4, 7, 11]); α_e – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції до оточуючого середовища (значення беруть згідно з табл. Ж1), Вт/(м²·К); λ_k і λ_{kn} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу одношарової теплоізоляції та коефіцієнт теплопровідності матеріалу n -го шару багатошарової теплоізоляції, Вт/(м·К); δ_k і δ_{kn} – товщина одношарової теплоізоляції та товщина n -го шару багатошарової теплоізоляції, м; d_i і d_{in} – зовнішній діаметр одношарової теплоізоляції та зовнішній діаметр товщина n -го шару багатошаро-

вої теплоізоляції, м; d_{int} – внутрішній діаметр заізольованого об'єкта, м.

Для визначення теплових втрат заізольованим обладнанням обчислені питомі теплові втрати множать на площу заізольованої поверхні об'єкта. Якщо заізольоване обладнання на різних ділянках має теплову ізоляцію з різним термічним опором (тобто ізоляцією з різних матеріалів та/або різної товщини), то питомі теплові втрати визначаються для кожної ділянки окремо, а теплові втрати всієї поверхні обладнання складаються з добутків питомих теплових втрат на площу поверхні кожної ділянки. Крім того, обчислене значення необхідно помножити на коефіцієнт, який враховує втрати теплоти крізь опори обладнання, арматуру та окремі, незначні по площі, неізольовані ділянки, які не були враховані під час розрахунку. Для обладнання коефіцієнт $K_{red} = 1,1$ (див. п. 5.3.1).

Отже, загальні теплові втрати заізольованим обладнанням у загальному випадку визначають за формулою

$$Q = K_{red} \sum_{n=1}^N (q_n F_n), \quad (6.21)$$

де N – кількість ділянок обладнання з різним термічним опором; q_n – питомі теплові втрати крізь ділянку обладнання площею поверхні F_n , Вт/м².

Для визначення загальних теплових втрат заізольованих трубопроводів обчислюють питомі теплові втрати q_l (віднесені до одиниці довжини трубопроводу), які помножують на загальну розрахункову довжину трубопроводу. При цьому розрахункова довжина трубопроводу дорівнює добутку номінальної довжини трубопроводу L на коефіцієнт K_{red} , значення якого наведені в табл. 5.4.

Отже, загальні теплові втрати заізольованим трубопроводом обчислюються за формулою

$$Q = q_l L K_{red}. \quad (6.22)$$

За багат шарової ізоляції для визначення теплопровідності матеріалу відповідного теплоізоляційного шару потрібне значення його середньої температури t_m , яке обчислюють як середньоарифметичне температур на внутрішній і зовнішній поверхнях шару (на початку розрахунку зазвичай ними задаються, а потім уточнюють методом ітерацій).

Температуру в будь-якій точці багат шарової ізоляції (за умови виконання нерівності $t_w > t_e$) визначають:

1) як різницю значень температури речовини в заізольованому об'єкті й питомого теплового потоку, помноженого на суму термічних опорів на ділянці між речовиною й поверхнею шуканої температури;

2) як суму значень температури оточуючого середовища й теплового потоку, помноженого на суму термічних опорів на ділянці між оточуючим середовищем і поверхнею з шуканою температурою.

Отже, температуру в будь-якій точці теплової ізоляції можна знайти за формулами (6.23)–(6.24) для плоскої стінки й циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше та за формулами (6.25)–(6.26) для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м:

$$t_x = t_w - q \sum_w^x R_i; \quad (6.23)$$

$$t_x = t_e + q \sum_e^x R_i; \quad (6.24)$$

$$t_x = t_w - q_l \sum_w^x r_i; \quad (6.25)$$

$$t_x = t_e + q_l \sum_e^x r_i; \quad (6.26)$$

де індексами «w», «e» і «x» позначені відповідно речовина в заізольованому об'єкті, оточуюче середовище й поверхня з шуканою температурою.

На підставі формул (6.23)–(6.26) міжшарова температура двошарової теплоізоляції $t_{l,2}$ становить:

– для плоскої стінки й циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше

$$t_{1,2} = t_w - q(R_{int} + R_{i1}) = t_w - q \left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_{k1}}{\lambda_{k1}} \right) \quad (6.27)$$

або

$$t_{1,2} = t_e + q(R_e + R_{i2}) = t_e + q \left(\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_{k2}}{\lambda_{k2}} \right); \quad (6.28)$$

– для циліндричних об'єктів діаметром менше 2 м

$$t_{1,2} = t_w - q_l(r_w + r_{i1}) = t_w - \frac{q_l}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_{int} d_{int}} + \frac{\ln(d_{i1}/d)}{2\lambda_{k1}} \right) \quad (6.29)$$

або

$$t_{1,2} = t_e + q_l(r_{le} + r_{i2}) = t_e + \frac{q_l}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_e d_{int}} + \frac{\ln(d_{i2}/d_{i1})}{2\lambda_{k2}} \right), \quad (6.30)$$

де d – зовнішній діаметр заізольованого об'єкта, м; d_{i1} – зовнішній діаметр першого шару ізоляції (внутрішнього шару, який стикається безпосередньо із заізольованим об'єктом), м; d_{i2} – зовнішній діаметр другого шару ізоляції (зовнішнього шару, який контактує з оточуючим середовищем), м.

Температуру на поверхні двошарової ізоляції t_i обчислюють за формулами:

– для плоскої стінки й циліндричних об'єктів діаметром 2 м і більше:

$$t_i = t_w - q(R_{int} + R_{i1} + R_{i2}) = t_w - q\left(\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_{k1}}{\lambda_{k1}} + \frac{\delta_{k2}}{\lambda_{k2}}\right)$$

або

$$t_i = t_e + qR_e = t_e + \frac{q}{\alpha_e};$$

– для циліндричних об’єктів діаметром менше 2 м:

$$t_i = t_w - q_l(r_{l_{int}} + r_{l_{i1}} + r_{l_{i2}}) = t_w - \frac{q_l}{\pi} \left(\frac{1}{\alpha_{int} d_{int}} + \frac{\ln(d_{i1}/d)}{2\lambda_{k1}} + \frac{\ln(d_{i2}/d_{i1})}{2\lambda_{k2}} \right)$$

або

$$t_i = t_e + q_l r_{l_e} = t_e + \frac{q_l}{\pi \alpha_e d_{i2}}.$$

Примітка. Дуже часто опір тепловіддачі R_{int} або $r_{l_{int}}$ від речовини до внутрішньої поверхні заізолюваного об’єкта набагато менший, ніж інші опори процесу теплопередачі, тому для невідповідальних розрахунків ними можна знехтувати (це значно спрощує вищенаведені розрахунки).

Потреба враховувати R_{int} або $r_{l_{int}}$ у розрахунках найчастіше виникає, коли речовиною в обладнанні або трубопроводі є газ або перегріта водяна пара, що рухаються за незначної швидкості (особливо це суттєво для циліндричних об’єктів малого діаметра).

7. ВИКОНАННЯ РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

7.1. Загальні положення

У загальному випадку проектування теплової ізоляції технологічного обладнання та трубопроводів хімічних виробництв передбачає:

1) вибір теплоізоляційного матеріалу, фізико-технічні властивості та експлуатаційні характеристики якого мають відповідати умовам роботи ізоляції;

2) вибір теплоізоляційної конструкції, що забезпечує її міцність, жорсткість і раціональні способи монтажу та експлуатації;

3) розрахунок товщини теплоізоляційного шару, що забезпечує додержання заданого теплового режиму заізольованого об'єкта.

Вихідними даними для виконання проекту теплової ізоляції є:

– перелік об'єктів, які підлягають теплоізолюванню, з вказівкою розмірів, місцезнаходження, температур теплоносія та оточуючого середовища, а також вимог, які пред'являються до теплової ізоляції виробничим процесом;

– кресленики загальних виглядів ізольованих об'єктів та їх вузлів, необхідні для виконання креслень ізоляційних конструкцій та їх кріплення.

Проектування теплової ізоляції, як правило, виконується у дві стадії (технічний проект і робоча документація), хоча в окремих випадках допускається проектування в одну стадію (техноробочий проект).

Проектно-кошторисна документація надається в такому вигляді:

1) на стадії технічного проекту: пояснювальна записка, що містить опис проєктованої теплоізоляційної конструкції з обґрунтуванням її вибору для окремих видів ізольованих об'єктів; відомість теплоізоляційної конструкції по окремих видах ізольованих об'єктів; відомість обсягу теплоізоляційних робіт; відомість потрібних матеріалів; кошторисні вартості теплоізоляційних робіт;

2) на стадії робочих креслень: коротка пояснювальна записка; техномонтажна відомість обсягу теплоізоляційних робіт, яка містить перелік ізольованих об'єктів з короткою їх характеристикою, описом спроектованих теплоізоляційних конструкцій і обсягом робіт по кожному ізольованому об'єкту; відомість обсягів теплоізоляційних робіт; відомість потрібних матеріалів і специфікація теплоізольованого обладнання.

Розрахунково-пояснювальна записка проекту теплової ізоляції зазвичай складається з таких розділів:

1) *Загальна частина*, у якій вказується, на підставі чого розроблено даний проект, основні вимоги завдання на проектування, перелік основних видів обладнання, для якого розроблені теплоізоляційні конструкції, основні параметри теплоносія і зміст проекту.

2) *Призначення теплоізоляції об'єкта й вимоги, які пред'являються до неї.* У цьому розділі, залежно від характеру теплоізоляції, умов роботи, завдання й норм на проектування встановлюється основне призначення теплоізоляції (наприклад, зменшення теплових втрат, зниження температури на нагрітих поверхнях з метою створення санітарних і безпечних умов праці для обслуговуючого персоналу, зберігання сталих параметрів теплоносія для збереження нормального технологічного процесу, запобігання конденсації атмосферної вологи на холодних поверхнях тощо). Також визначають основні вимоги щодо теплоізоляції, наприклад, низька густина й теплопровідність, температуростійкість, механічна міцність, гідро- й паронепроникність та ін.

3) *Вибір теплоізоляційних матеріалів і конструкцій.* У цьому розділі наводиться номенклатура прийнятих у проекті теплоізоляційних матеріалів і конструкцій з їх технічним і економічним обґрунтуванням.

4) *Розрахунок теплоізоляції.* З метою скорочення обсягу типові розрахунки теплоізоляції можуть не додаватися, а бути зведені в таблицю, складену в порядку, який відповідає послідовності виконаного розрахунку.

5) *Висновки.* У висновках подається аналіз правильності прийнятих технічних рішень, вибору теплоізоляційних матеріалів і конструкцій. Також зазвичай наводяться теплові втрати обладнання та трубопроводів.

Робочу документацію теплової ізоляції зовнішньої поверхні обладнання та трубопроводів виконують відповідно до вимог ДСТУ Б А.2.4-9-95 (ГОСТ 21.405-93) та інших нормативно-технічних документів Системи проектної документації для будівництва.

До складу робочої документації теплової ізоляції включають:

- робочі кресленики, призначені для провадження монтажних робіт (основний комплект робочих креслень марки ТІ);
- відомість техномонтажну відповідно до п. 7.4;
- специфікацію обладнання, відомість потреби в матеріалах і відомості обсягів будівельних і монтажних робіт* згідно з ДСТУ Б А.2.4-10-95 (ГОСТ 21.110-95);
- ескізні кресленики загальних видів нетипових теплоізоляційних конструкцій, виробів, пристроїв (далі ескізні кресленики), які призначені для розроблення конструкторської документації.

До складу основного комплексу робочих креслень марки ТІ включають:

- загальні дані за робочими креслениками;
- кресленики (види, плани, розрізи) теплової ізоляції.

Позиційні позначення (марки) обладнання (установок, блоків), систем, трубопроводів, арматури та інших елементів приймають за відповідними робочими креслениками (технологічними, тепломеханічними, санітарно-технічними та ін.), на підставі яких розробляють кресленики теплової ізоляції.

* Виконуються за потреби.

За незначного обсягу робіт з теплового ізолювання трубопроводів і застосуванні рішень допускається не виконувати основний комплект робочих креслень марки ТІ. У цьому разі відповідні вказівки про виконання робіт, склад теплоізоляційних конструкцій і техномонтажну відомість (за необхідністю) наводять на аркуші загальних даних основного комплекту, що вміщує робочі кресленики трубопроводів, які підлягають ізолюванню.

7.2. Загальні дані за робочими креслениками

Загальні дані за робочими креслениками марки ТІ виконують згідно з ГОСТ 21.101–93.

У загальних вказівках, крім відомостей, передбачених ГОСТ 21.101–93, наводять:

- розрахункову температуру навколишнього повітря;
- результати теплотехнічних розрахунків (за необхідністю);
- коефіцієнти ущільнення теплоізоляційних матеріалів;
- вимоги до виготовлення і монтажу теплової ізоляції обладнання та трубопроводів (допускається наводити на відповідних креслениках теплової ізоляції);
- призначення ізоляції для окремих видів обладнання та трубопроводів, а також відомості щодо розташування теплової ізоляції відповідно до п. 7.4, перелік ж.

Приклади:

- 1) Теплова ізоляція трубопроводів з температурою речовин від плюс 50 до плюс 240 °С передбачена з метою дотримання норм густини теплового потоку.
- 2) Теплова ізоляція повітроводів з температурою від плюс 5 до мінус 20 °С, розташованих у приміщенні, передбачена з метою запобігання конденсації вологи на поверхні теплоізоляційної конструкції.

7.3. Кресленики теплової ізоляції

На креслениках теплової ізоляції (видах, планах, розрізах) наносять і вказують:

- координаційні осі будівлі (споруди)* ;
- обладнання (установки, блоки), трубопроводи, повітроводи, газоходи, а також будівельні конструкції, що ізолюються* ;
- позначки чистих підлог поверхів (площадок), рівнів основних елементів обладнання* ;
- розмірні прив'язки обладнання (установок, блоків), трубопроводів, повітроводів, газоходів, опор до координаційних осей будівлі (споруди)* ;
- габаритні розміри обладнання;

* Виконуються за потреби.

- зовнішні розміри перерізу трубопроводів та їх елементів;
- товщину теплоізоляційного шару в конструкції (для двох і більше теплоізоляційних шарів вказують товщину кожного шару);
- розмірні прив'язки елементів кріплення теплової ізоляції до елементів обладнання, трубопроводів, якщо вони не визначені вимогами ГОСТ 17314–81. За необхідністю розмірну прив'язку елементів кріплення виконують на окремому кресленику;
- шари теплової ізоляції (теплоізоляційний, пароізоляційний, покривний) та їх кріплення з прив'язкою до елементів теплоізоляційної конструкції;
- позиційні позначення елементів теплоізоляційних конструкцій на площині лінії-виноска;
- позиційні позначення (марки) обладнання (установок, блоків), систем, трубопроводів, повітроводів, газоходів.

Приклад виконання кресленика теплової ізоляції наведено на рис. 7.1.

На видах, планах і розрізах теплоізоляційні конструкції, вироби, пристрої зображують спрощено суцільною товстою основною лінією.

Обладнання (установки, блоки), трубопроводи, повітроводи, газоходи й будівельні конструкції на видах, планах і розрізах зображують суцільною тонкою лінією.

Елементи кріплення складових частин теплоізоляційної конструкції чи їх з'єднання між собою зображують, як правило, на вузлах видів, планів або розрізів.

До кожного кресленика теплової ізоляції обладнання (установки, блока), трубопроводу, повітроводу, газоходу та інших елементів складають специфікацію за формою 7 або 8 ГОСТ 21.101–93.

Елементи теплоізоляційної конструкції записують у специфікацію в такій послідовності:

- вироби теплоізоляційні;
- матеріали теплоізоляційні, пароізоляційні, покривного шару;
- вироби кріпильні.

У специфікації вказують:

- у графах «Кільк.» і «Маса од., кг» – об'єм і масу теплоізоляційного матеріалу (для матеріалу, що ущільнюється, – об'єм і масу вказують з урахуванням ущільнення);
- у графі «Примітки» – одиниці виміру та інші потрібні дані.

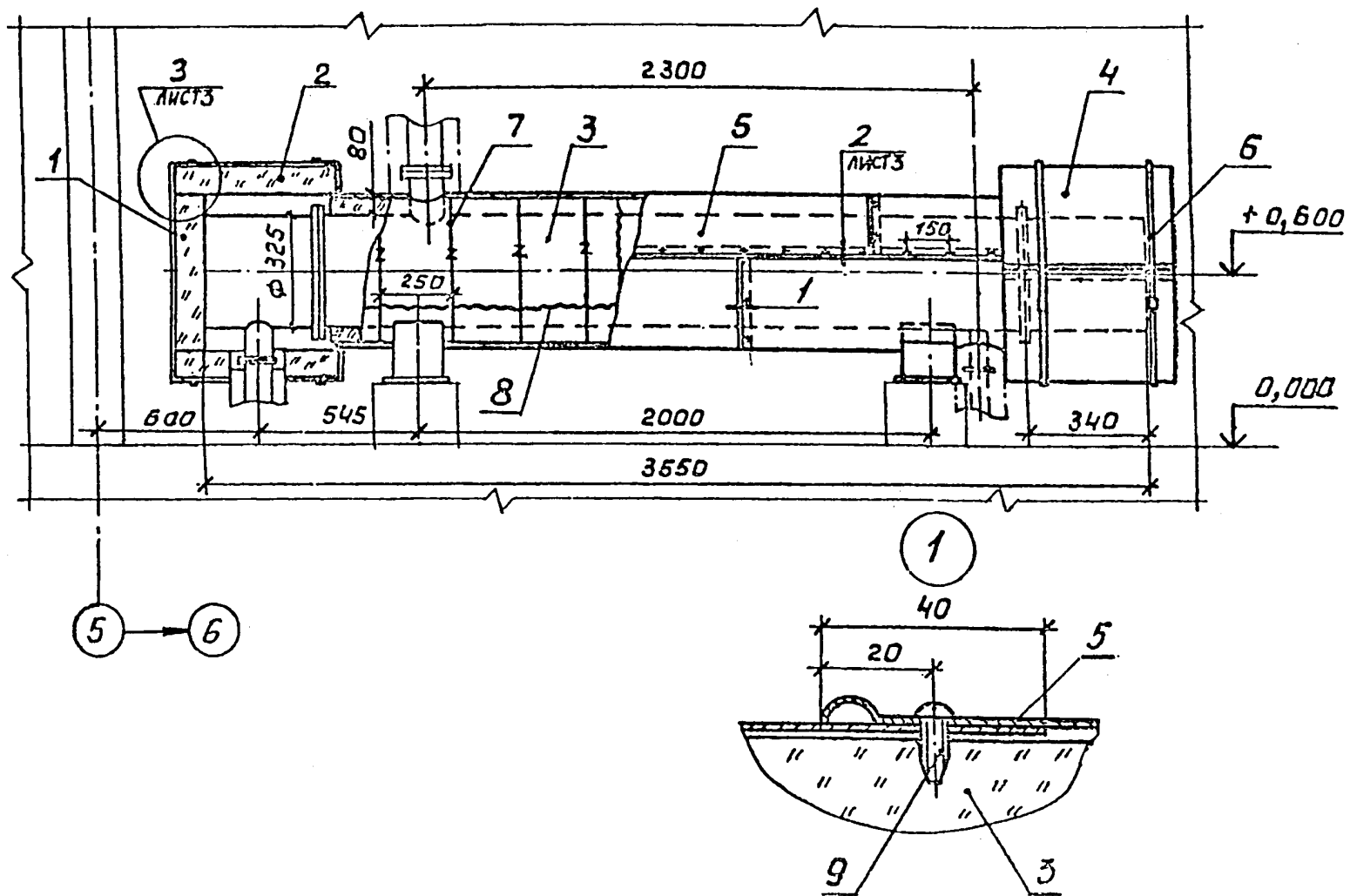


Рис.7.1. Приклад виконання кресленника теплової ізоляції

Обладнання, трубопровід, що ізолюються							
Марка поз.	Найменування	Розміри		Кільк.	Температура речовини, °С	Призначення й розташування	
		зовнішній діаметр або переріз, мм	довжина, висота, м				
20	70	25	15	10	15	15	

Теплоізоляційна конструкція						
Найменування (позначення)	Товщина шару, мм		Поверхня, м ²	Об'єм теплоізоляційного шару, м ³	Позначення документа	Примітка
	теплоізоляційного	покривного				
75	15	15	20	20	60	20

Рис.7.2. Відомість техномонтажна (форма 1)

7.4. Техномонтажна відомість

Відомість техномонтажну (ВТ) виконують за формою 1, рис.7.2.

У графах ВТ вказують:

а) у графі «Марка, поз.» – позначення обладнання (установки, блока), системи, трубопроводу, елемента трубопроводу, арматури, фланцевого з'єднання, що підлягає ізолюванню, згідно з п.7.1;

б) у графі «Найменування»:

– для обладнання – найменування, тип, марку (для обладнання складної конфігурації – площу поверхні, що підлягає ізолюванню);

– для трубопроводу, повітроводу, газоходу – найменування, початкову й кінцеву точки трубопроводу, повітроводу, газоходу чи їх ділянок, що підлягають ізолюванню;

– для арматури – тип, діаметр номінальний;

в) у графі «Розміри: зовнішній діаметр чи переріз, мм»:

– для обладнання, трубопроводу, повітроводу, газоходу циліндричної форми – зовнішній діаметр;

– для обладнання, повітроводу, газоходу прямокутного перерізу – зовнішні розміри перерізу;

г) у графі «Розміри: довжина, висота, м» – довжину (висоту) ділянок горизонтального чи вертикального обладнання, трубопроводу, повітроводу, газоходу, що підлягають ізолюванню.

Для обладнання складної конфігурації, арматури, фланцевих з'єднань графу «Розміри» не заповнюють;

д) у графі «Кільк.» – кількість елементів трубопроводу, обладнання, арматури тощо, які підлягають ізолюванню;

е) у графі «Температура речовини, °С» – температуру теплоносія. Для трубопроводів й обладнання, які обігріваються, вказують також температуру теплоносія трубопроводу-супутника;

ж) у графі «Призначення й розташування» – призначення теплоізоляційної конструкції й розташування обладнання, трубопроводу, повітроводу, газоходу, які підлягають ізолюванню відповідно до завдання на проектування. Для обладнання та трубопроводів (повітроводів, газоходів), що розміщені в однакових умовах, розташування не вказують. У цьому випадку відомості про розташування теплової ізоляції розміщують в загальних вказівках, що входять до складу загальних даних за робочими креслениками марки ТІ. Позначення, які застосовуються в техномонтажній відомості для заповнення графи «Призначення і розташування», наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1. Позначення, які застосовуються в техномонтажній відомості для заповнення графі «Призначення і розташування»

Найменування	Призначення
Дотримання норм густини теплового потоку	ДН
Дотримання вимог безпеки	ВБ
Збереження заданої температури	ЗТ
Запобігання конденсації вологи на поверхні ізоляції або внутрішній поверхні обладнання чи трубопроводу, що ізолюється	ЗК
Запобігання замерзанню або збільшенню в'язкості речовини	З
Розміщення	Призначення
На відкритому повітрі	В
У приміщенні	П
У тунелі	Т
У каналі	К
У технічному підвалі	ТП

и) у графі «Найменування (позначення)» – найменування або позначення теплоізоляційної конструкції відповідно до документації на конструкцію. Допускається наводити найменування матеріалу шарів теплової ізоляції;

к) у графі «Товщина шару, мм, теплоізоляційного» – товщину кожного шару з різнорідних теплоізоляційних матеріалів або товщину індустріальної теплоізоляційної конструкції; для матеріалів, що ущільнюються, – товщину після ущільнення. Допускається вказувати загальну товщину шарів з однорідних теплоізоляційних матеріалів;

л) у графі «Товщина шару, мм, покривного» – товщину металевого покривного шару. Для неметалевих покривних шарів графу не заповнюють;

м) у графі «Поверхня, м²» – розрахункову зовнішню поверхню покривного шару;

н) у графі «Об'єм теплоізоляційного шару, м³» – об'єм теплоізоляційних шарів, кожного шару окремо;

п) у графі «Позначення документа» – позначення документа на теплоізоляційну конструкцію;

р) у графі «Примітки» – додаткові відомості.

Відомість техномонтажну виконують, як правило, окремим документом з присвоєнням самостійного позначення, що складається з позначення основного комплексу робочих креслень і (через крапку) шифру ВТ, наприклад, 2345-11-ТІ.ВТ.

При виконанні ВТ окремим документом першим аркушем є титульний лист. Титульний лист виконують за ДСТУ Б А.2.4-9-95.

7.5. Специфікація обладнання

У специфікацію обладнання (СО) конструкції, виробу й матеріали записують за групами в такій послідовності:

- конструкції (вироби) теплоізоляційні;
- матеріали теплоізоляційні;
- матеріали пароізоляційні;
- матеріали покривного шару;
- інші матеріали.

Вироби кріпильні (болти, гайки, шайби, прокладки) в СО не включають.

У графі «Найменування» перед найменуванням конструкцій, виробів і матеріалів, що включені в СО, вказують порядковий номер їх запису в СО. Графу «Поз.» не заповнюють.

У СО приймають такі одиниці виміру:

- конструкції (вироби) – шт.;
- матеріали теплоізоляційні – м^3 ;
- матеріали пароізоляційні й покривного шару – м^2 ;
- інші матеріали – кг.

8. МОНТАЖ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ Й РЕМОНТ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

8.1. Монтаж теплової ізоляції

Теплоізоляційні роботи можуть починатися лише після оформлення акта (дозволу), підписаного замовником, представником монтажної організації та організації, що виконує теплоізоляційні роботи. За наявності будь-яких недоробок обов'язково вказують в акті порядок і терміни їх усунення.

Будь-яка заміна теплоізоляційних матеріалів, передбачених проектом, допускається лише з дозволу замовника та проектної організації.

Документація на теплоізоляційні роботи складається з проекту з теплоізолювання об'єкта та проекту провадження робіт (ППР).

Проект з теплоізолювання об'єкта містить техномонтажні відомості, робочі кресленики ізоляції обладнання та складних вузлів (для трубопроводів допускається посилання на діючі типові конструкції), компоновальні схеми обладнання й магістральних трубопроводів, а також кошториси.

Проект провадження робіт складається будівельними й монтажними організаціями або (згідно з договорами, контрактами) проектними спеціалізованими організаціями. Однаковою для складання ППР є такі документи: інструктивні вказівки; проект на монтаж обладнання та трубопроводів; проект з теплоізолювання; нормативи витрати матеріалів; норми й розцінки на будівельні, монтажні й ремонтно-будівельні роботи; типові технологічні карти; відомчі інструкції з порядку виконання окремих елементів робіт.

Проект провадження теплоізоляційних робіт має містити: поєднаний календарний план теплоізоляційних і будівельно-монтажних робіт; графік надходження на об'єкт теплоізоляційних і допоміжних матеріалів; схематичний будівельний план об'єктів будівництва з розташуванням підіймальних механізмів монтажних і загальнобудівельних організацій, під'їзних залізничних і автомобільних шляхів, майданчиків для складування теплоізоляційних матеріалів; технологічні карти на попереднє ізолювання апаратів і обладнання складної конфігурації; робочі кресленики нестандартних пристроїв, основні рішення з техніки безпеки; коротку пояснювальну записку з обґрунтуванням основних рішень проекту.

Розрізняють два основних *способи монтажу теплоізоляційних конструкцій*:

1) спосіб попереднього ізолювання, за якого ізолювання трубопроводів і обладнання здійснюється не на місці їх експлуатації, а в зручному для ізолювання місці. Цей спосіб найчастіше застосовують у разі прокладання трубопроводів (ізолюванню піддають окремі труби на підприємстві-виробникові або безпосередньо на монтажному майданчику біля естакад, каналів або туне-

лів), а також ізолюванні обладнання, яке можна випробувати до його монтажу, наприклад колонних апаратів, які для зручності часто ізолюють у горизонтальному положенні;

2) ізолювання змонтованих і випробуваних трубопроводів і обладнання. Цей спосіб більш трудомісткий, проте він з більшою ймовірністю гарантує працездатність як самого змонтованого заізолюваного об'єкта, так і теплової ізоляції.

На обладнанні мають бути встановлені всі кріпильні деталі ізоляції (втулки й скоби), розвантажувальні пристрої, косинки кронштейнів площадок обслуговування.

Об'єкти, які підлягають теплоізолюванню, приймають лише після їх випробувань на міцність і щільність (неперевірені зварні шви і з'єднання після ізолювання можуть дати течу, усунення якої передбачає демонтаж всієї теплоізоляційної конструкції або її частини й повторне її улаштування). Як виняток допускається ізолювання без випробування трубопроводів за умови, що поперечні зварні шви залишаються незаізолюваними (вони можуть бути заізолювані тільки після випробування змонтованого трубопроводу на щільність).

Перед укладанням теплоізоляційного шару на ізолюваний об'єкт поверхня останнього має бути підготовлена. Для цього ізолювані поверхні висуюють, очищують від бруду, пилу та продуктів корозії, знежирюють і, якщо це необхідно за проектом, покривають антикорозійними речовинами. На поверхнях промислових холодильників установлюють просушені, антисептовані дерев'яні конструкції, а також усі металеві деталі для кріплення ізоляції.

Для сушіння ізолюваної поверхні використовують парові й повітряні калорифери, електронагрівальні прилади, лампи. Очищення здійснюють різними щітками (електро-, пневмомеханічними, ручними), скребками, піскоструминними апаратами. Для знежирювання металеві поверхні протирають ганчіркою, змоченою уайт-спіритом або скипидаром, а потім сухою ганчіркою.

Дерев'яні поверхні знежирюють зіскрібанням, після чого протирають ганчіркою й обмахують волосяною щіткою. Фарбуванню піддають передусім поверхні об'єктів, які містять речовини з негативною температурою. Для фарбування зазвичай використовують лаки й бітумні мастики.

Основні вимоги щодо укладання, розташування й закріплення теплоізоляційних виробів на ізолюваному об'єкті наведені в п. 3.

Закріплений на об'єкті теплоізоляційний шар захищають покривним шаром (див. п. 3).

Елементи найбільш поширених металевих покривних шарів, якщо теплоізоляційна конструкція не є повнозбірною або збірною, виготовляють у механічних майстернях по робочих креслениках проекту теплової ізоляції або на підставі замірів, здійснених на місці монтажу.

Процес виготовлення металевих покриттів зазвичай складається з таких операцій: очищення й правки листів, розмітки, різання, з'єднання листів покриття, гнуття, зігнуття, контрольного складання фасонних елементів (за необхідності).

Окремі металеві листи, після надходження зі складу, очищують від бруду, пилу й продуктів корозії, а в разі необхідності – розконсервують.

Правлення листів здійснюють на листопрямильних валкових машинах (ручних або приводних) або вручну (сталеві листи – металевими молотками або киянками, а листи з алюмінію або алюмінієвих сплавів – киянками або металевими молотками через м'які проміжні прокладки).

Розмітку листів здійснюють на розміточних столах за допомогою інструментів і пристроїв. Дуже часто розмітку здійснюють за шаблонами, особливо під час виготовлення значної кількості однакових елементів складної форми, наприклад, розгортки зрізаних циліндрів, конусів, елементів трійників, відводів тощо (рис. 8.1).

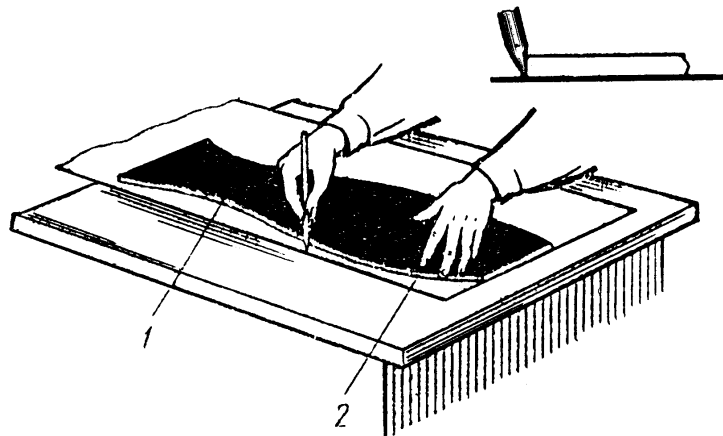


Рис. 8.1. Розмічання за шаблоном: 1 – шаблон; 2 – листовий метал

Різнання листового металу здійснюють за допомогою ручних ножиць (прямих і лекальних), ручних махових (важільних) ножиць, електроножиць, дискових і гільйотинних ножиць.

Гнуття елементів металевих покриттів циліндричної форми здійснюють на листозгинальних вальцях.

Окремі листи металевих покриттів з'єднують в обичайки або картини (карти) за допомогою фальцевих швів (рис. 8.2), які виконують вручну (рис. 8.3) або на спеціальних фальцмашинах (рис. 8.4).

Для надання елементам металевих покриттів жорсткості на їх поверхні виконують валики жорсткості – зиги півкруглої форми (рис. 8.5).

Крім основних виробів у механічній майстерні виготовляють також допоміжні вироби – розрізають металеві сітки на мірні куски, відпалюють дріт, покривають протикорозійними речовинами металеву бандажну стрічку (крім алюмінієвої).

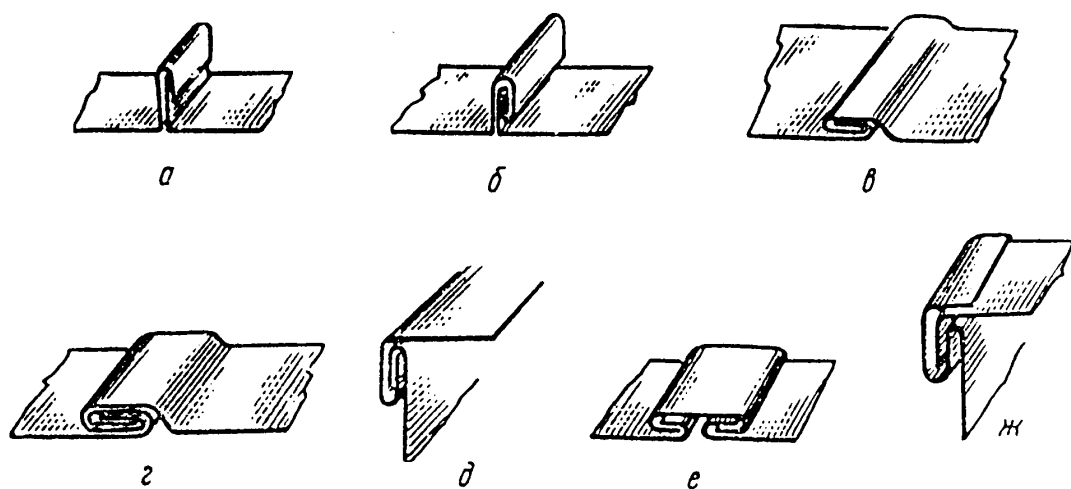


Рис. 8.2. Фальцеві шви: *а* – стоячий одинарний; *б* – стоячий подвійний; *в* – лежачий одинарний; *г* – лежачий подвійний; *д* – кутовий одинарний; *е* – рейковий; *ж* – кутовий комбінований

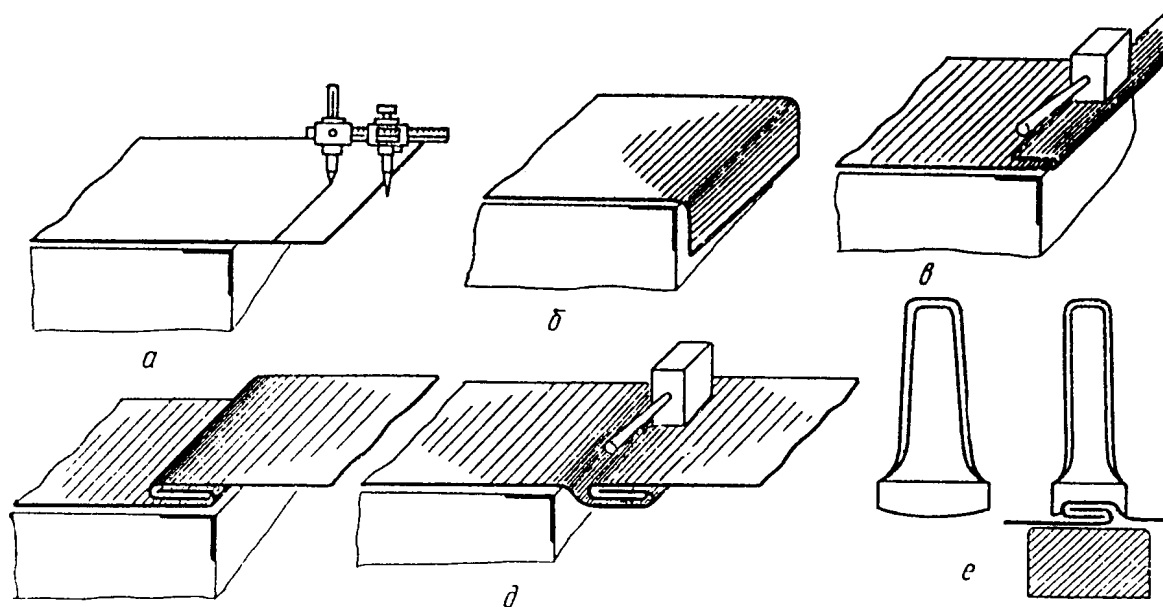


Рис. 8.3. Ручне заготовлення одинарного лежачого фальця: *а* – нанесення риски рисувальною; *б, в* – згинання пругу; *г* – з'єднання відігнутих пругів двох листів; *д* – підсікання киянкою; *е* – підсікання обтискачем

Після цього виготовлені металеві обичайки й картини встановлюють на теплоізоляційний або пароізоляційний шар заізовованого виробу (див.п.3).

На вертикальних циліндричних апаратах і вертикальних ділянках трубопроводів покривний шар монтують знизу вгору для забезпечення перекриття верхніми елементами нижніх.

Установлені на ізований об'єкт металеві обичайки, а також замикаючі (по діаметру) картини стягують натяжними машинами. Після цього просвердлюють отвори й встановлюють самонарізні гвинти.

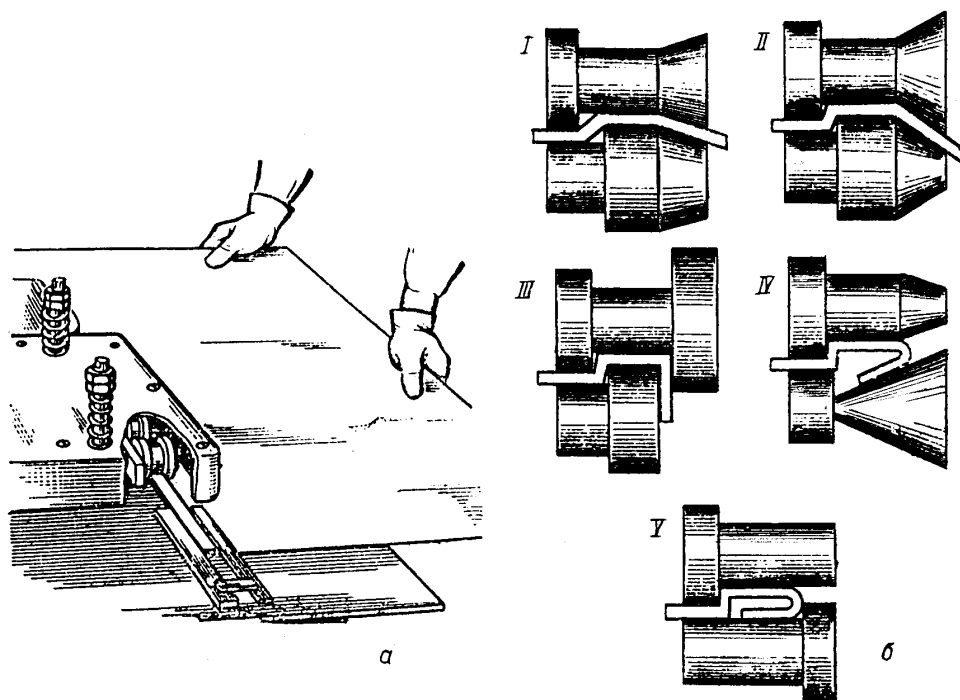


Рис. 8.4. Прокатування фальця: *а* – загальний вигляд фальцмашини; *б* – послідовність (I–V) утворення пругів лежачого фальця

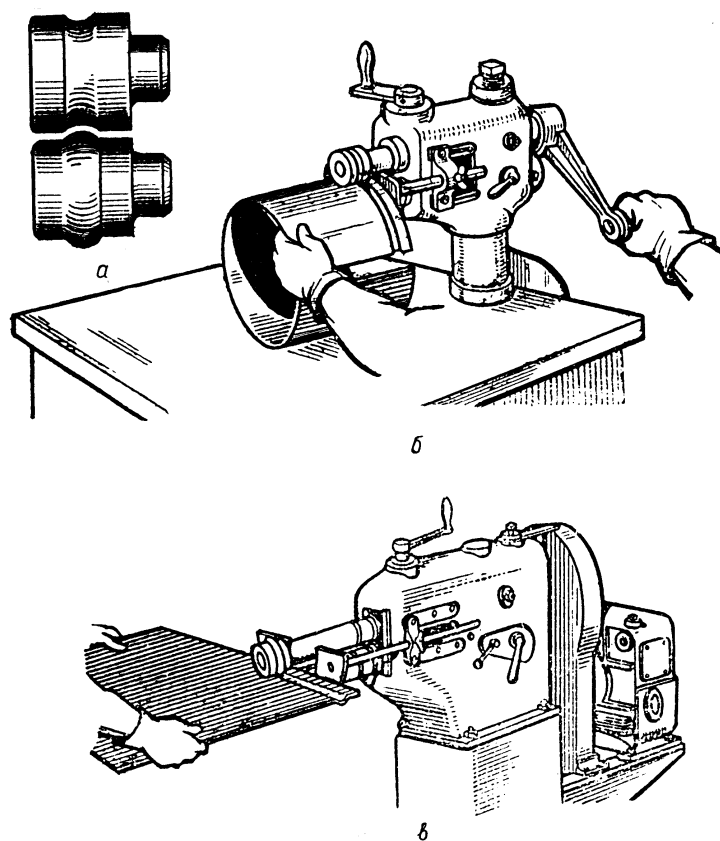


Рис. 8.5. Ролики для утворення зигів (*а*) і виготовлення зигів (*б* – вручну; *в* – на приводній машині)

Під час монтажу склопластикових покривних шарів під кожний самонарізний гвинт зазвичай підкладають шайби.

Під час укладання на ізольований об'єкт рулонних матеріалів напусток по поперечних швах має бути на 40–50 мм, а по поздовжніх – не менше 50 мм. Поздовжній шов на горизонтальних об'єктах розташовують на рівні горизонтальної діаметральної площини, або на 40–50 мм нижче її. Під час укладання склотканини поздовжні шви зшивають скляною або капроною ниткою, при цьому для запобігання висипанню ниток зі склотканини, пруги її по поздовжніх швах підвертають на 50 мм.

Оклеювання тканинами (як правило штукатурних шарів) здійснюють двома способами: циліндричні заізовані об'єкти з діаметром ізоляції до 160 мм оклеюють спіраллю, а об'єкти з діаметром ізоляції 160 мм і більше – полотнищами.

Під час оклеювання спіраллю тканину розрізають на смуги шириною 200–250 мм і довжиною до 10 м. Якщо для оклеювання застосовують крохмальний клейстер, то тканину укладають по сухому штукатурному шару, а якщо глиняний або цементний розчин – то можна й по вологому штукатурному шару. Під час оклеювання полотнищами поздовжній шов розташовують з невидимої або менш помітної частини ізольованого об'єкта, при цьому верхній пруг тканини має перекривати нижній. Вертикальні ізольовані об'єкти оклеюють знизу вгору. Не проклеєні ділянки не повинні складати більше 5 % від площі поверхні заізованого об'єкта.

Фарбуванню зазвичай підлягають теплоізоляційні конструкції із зовнішньою поверхнею з тканини, штукатурки або металевого листа з чорного металу. Поверхню перед фарбуванням сушать, вирівнюють і очищають від бруду й пилу. По тканині й по металу спочатку наносять шар ґрунтовки, а після його висихання – шар фарби.

У зимовий період теплоізоляційні роботи виконують за температури оточуючого середовища не нижче мінус 20 °С, мастикові роботи – тільки по гарячих поверхнях за температури оточуючого середовища не нижче мінус 5 °С (в іншому випадку улаштовують тепляки), а штукатурні із застосуванням звичайних штукатурних розчинів – за температури повітря не нижче 5 °С.

Розрізняють проміжну та остаточну здачу-приймання теплоізоляційних робіт. Проміжна здача-приймання передбачає приймання окремих елементів конструкції (попередніх перед улаштуванням наступних).

Остаточна здача-приймання теплоізоляційних робіт здійснюється комісією, у склад якої входять представники замовника, генерального підрядчика та організації, які виконують теплоізоляційні роботи. Під час остаточної здачі робіт перевіряється відповідність виконання робіт проекту як в частині відповідності технічній характеристиці теплоізоляційних конструкцій, так і обсягів робіт.

Проміжні та остаточна здача-приймання теплоізоляційних робіт обов'язково оформлюється відповідними актами.

8.2. Експлуатація й ремонт теплової ізоляції

Надійна робота теплоізоляції протягом передбаченого терміну значною мірою залежить від її правильної експлуатації, а також своєчасного ремонту.

Конструкція ізоляції повинна розглядатися як один з елементів заізованого об'єкта, які визначають його надійність. Під час експлуатації об'єкта необхідно контролювати загальний вигляд теплоізоляції, її цілісність, не допускаючи механічного пошкодження теплоізоляційної конструкції, накопичення бруду й пилу на її поверхнях тощо.

Для встановлення експлуатаційного стану теплоізоляційної конструкції заізованого об'єкта може складатися паспорт теплової ізоляції, у якому вказується найменування об'єкта, його характеристика, характеристика теплоізоляційної конструкції, дані про обстеження, ремонти й випробування ізоляції тощо.

Зміну первісних теплофізичних властивостей ізоляції контролюють вимірюванням температури на поверхні ізоляції й температури оточуючого середовища, а також вимірюванням теплового потоку крізь ізоляцію.

За відсутності видимих пошкоджень й наявності зміни показників конструкції здійснюється вирізання зразків ізоляції, їх огляд і випробування в лабораторії (на період досліджень місця вирізів ізоляції закладаються). Обов'язковим є оглядання ізоляції у випадку її сильного зволоження.

Наявність провисання ізоляції на горизонтальних об'єктах контролюють замірюванням товщини ізоляції вгорі й внизу об'єкта по його діаметру, а на плоских і криволінійних поверхнях – у точках, які відстають одна від одної на 0,5–1,0 м. Заміри порівнюються між собою і з товщиною, вказаною в паспорті ізоляції. Провисання ізоляції також можна виявити накладанням рейки на поверхню теплоізоляційної конструкції.

Під впливом термічної дії часто спостерігається руйнування ізоляції об'єктів за відсутності температурних швів у теплоізоляційній конструкції об'єктів з температурою теплоносія понад 350 °С.

У разі розташування заізованих об'єктів на відкритому повітрі (особливо вертикального обладнання значної висоти, наприклад, колонних апаратів та ін.) під дією вітру може відбуватися відставання й руйнування покривного шару ізоляційної конструкції, що значно прискорює подальше пошкодження основного ізоляційного шару.

Усі пошкодження теплоізоляції усуваються під час ремонтів – поточного й капітального.

В обсяг поточного ремонту теплоізоляції входить: часткова заміна ділянок ізоляції, пошкоджених під час експлуатації об'єктів; ремонт пошкоджень ізоляції, які відбулися безпосередньо під час ремонту заізованого обладнання; відновлювання покривного шару теплоізоляційної конструкції; частко-

ве збільшення товщини ізоляції.

Капітальний ремонт теплоізоляції здійснюється: під час капітального ремонту заізовованого об'єкта безпосередньо; у разі зміни режимів роботи заізовованого об'єкта, у зв'язку з чим змінилися вимоги до ізоляційної конструкції; у разі зниження норм максимально допустимих теплових втрат крізь ізоляцію; у випадку значного зносу ізоляції; у результаті проведення теплових випробувань, які встановили погіршення властивостей ізоляції, що збільшуються з часом.

Перед ремонтом ізоляції здійснюється її демонтаж. Демонтаж ізоляції повинен проводитися поопераційно в порядку, зворотному монтажу ізоляції. При цьому всі елементи теплоізоляційної конструкції, які будуть знову застосовані повинні зніматися без пошкоджень і маркіруватися з метою можливості їх встановлення на своє місце після ремонту.

Капітальному ремонту з повною заміною підлягає ізоляція за наявності таких дефектів: ізоляційний матеріал спікся й ущільнився; ізоляція просіла, армувальні елементи нещільно прилягають до ізоляції й провисли, штукатурний шар має тріщини; матеріал ізоляції має граничну температуру застосування нижче температури теплоносія заізовованого об'єкта; ізоляція має знос по товщині понад 50 %.

8.3. Техніка безпеки під час проведення теплоізоляційних робіт

Вимоги щодо запобігання дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час підготовки й виконання теплової ізоляції обладнання та трубопроводів у разі нового будівництва, розширення, реконструкції й технічного переозброєння підприємств, будівель і споруд встановлює ГОСТ 12.3.038–85.

Організація й технологія виконання теплоізоляційних робіт мають забезпечувати для працівників на всіх стадіях виробничого процесу й відповідати вимогам ГОСТ 12.3.038–85 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.1.004–91 «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования», ГОСТ 12.1.007–76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности», СНиП III-4–80 «Техника безопасности в строительстве» та ін.

Під час виконання теплоізоляційних робіт має бути забезпечена безпечність для працівників у разі виникнення таких небезпечних і шкідливих виробничих чинників:

- запиленість і загазованість повітря;
- рівень шуму й вібрації на робочому місці;
- нестача освітлення;
- відхилення від оптимальних норм температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні;

– електробезпечність застосованих машин і обладнання.

Уміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони й параметри мікроклімату не повинні перевищувати норм, установлених ГОСТ 12.1.005–88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Допустимі значення рівнів шуму й вібрації, що створюються машинами й механізмами на робочих місцях, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003–83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» и ГОСТ 12.1.012–90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».

Освітлення на робочих місцях має бути не менше 30 лк.

Під час виконання теплоізоляційних робіт у небезпечних зонах порядок допущення до провадження робіт, а також границі небезпечних зон, у межах яких діють небезпечні фактори, мають відповідати СНиП III-4–80.

Основним документом для підготовки, організації й виконання теплоізоляційних робіт з урахуванням забезпечення безпеки праці має бути проект провадження робіт (ППР) або технологічна карта (ТК). Склад і зміст основних рішень у ППР і ТК по забезпеченню безпеки праці мають відповідати ГОСТ 12.3.038–85.

Усі партії вихідних теплоізоляційних матеріалів і виробів повинні мати паспорт. При цьому необхідно перевіряти наявність у паспорті відомостей про вміст шкідливих речовин, параметрів, які характеризують пожежовибухонебезпечність, терміни й умови зберігання, метод застосування, спосіб безпечного провадження теплоізоляційних робіт, рекомендації щодо колективного та індивідуального захисту.

Під час транспортування й зберігання теплоізоляційних матеріалів, виробів і конструкцій необхідно дотримуватися вимог нормативних документів на конкретні види матеріалів і виробів.

Крім того, під час зберігання теплоізоляційних матеріалів, виробів і конструкцій мають бути виконані такі вимоги:

- висота штабеля виробів з волокнистих матеріалів у м'якому пакуванні не повинна перевищувати 2 м;

- вироби й конструкції в контейнерах і піддонах мають укладатися в штабель не більше, ніж у два яруси;

- вироби у вигляді циліндрів і півциліндрів, а також матеріали в рулонах, (руберойд, пергамін, листовий метал) мають укладатися у вертикальному положенні в один ярус, фольговані й полімерні матеріали в рулонах – не більше ніж у два яруси, листовий метал, азбестоцементні листи в пакетах – у штабель висотою не більше, ніж 1 м.

Висота укладки виробів і конструкцій може бути збільшена під час виконання заходів із забезпечення їх стійкості й збережуваності.

Вихідна сировина й готові композиції для приготування пінополіуретану мають зберігатися згідно з вимогами, встановленими технологічними умовами й стандартами на ці матеріали.

Вимоги безпеки до вантажно-розвантажувальних робіт мають відповідати ГОСТ 12.3.009–76 «ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности».

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Обґрунтуйте потребу теплового ізолювання технологічного й допоміжного обладнання, а також трубопроводів.
2. Проаналізуйте класифікацію теплоізоляційних матеріалів і виробів.
3. Обґрунтуйте потребу в улаштуванні теплоізоляційних конструкцій.
4. Проаналізуйте основні вимоги до теплоізоляційних матеріалів і виробів.
5. Проаналізуйте основні вимоги до теплоізоляційних конструкцій.
6. Проаналізуйте теплоізоляційні конструкції трубопроводів з речовинами, що мають позитивну температуру.
7. Проаналізуйте теплоізоляційні конструкції технологічного обладнання з речовинами, що мають позитивну температуру.
8. Проаналізуйте теплоізоляційні конструкції об'єктів з речовинами, що мають негативну температуру.
9. Обґрунтуйте основні конструкції пристроїв для кріплення теплової ізоляції сталевих посудин та апаратів.
10. Обґрунтуйте основні вимоги до пристроїв для кріплення теплової ізоляції сталевих посудин та апаратів.
11. Проаналізуйте умови розрахунку товщини теплоізоляційного шару.
12. Проаналізуйте критичний діаметр циліндричного заізольованого об'єкта.
13. Проаналізуйте вплив розташування шарів теплової ізоляції на величину теплового потоку крізь теплозаізольовану стінку.
14. Обґрунтуйте потребу у визначенні кількості теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції заізольованого об'єкта.
15. Обґрунтуйте потребу у визначенні теплових втрат в оточуюче середовище обладнанням і трубопроводами.
16. Проаналізуйте основні вимоги щодо креслень теплової ізоляції
17. Проаналізуйте основні вимоги щодо техномонтажної відомості теплової ізоляції.
18. Проаналізуйте основні вимоги щодо специфікації теплоізольованого обладнання.
19. Проаналізуйте особливості монтажу теплової ізоляції.
20. Проаналізуйте особливості експлуатації й ремонту теплової ізоляції.
21. Обґрунтуйте вимоги техніки безпеки під час проведення теплоізоляційних робіт.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ

Таблиця А.1. Розрахункові технічні характеристики теплоізоляційних матеріалів і виробів

Матеріал, виріб, ГОСТ або ТУ	Середня густина в конструкції ρ, кг/м ³	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в конструкції λ _к , Вт/(м·К) для поверхонь з температурою, °С		Температура застосування, °С	Група горючості
		20 і вище	19 і нижче		
Вироби з пінопласту ФРП-1 та резопіну, ГОСТ 22546–84, групи:					
75	65–85	0,041+0,00023 <i>t_m</i>	0,051–0,045	Від мінус 180 до 130 Від мінус 180 до 150	Важкогорючі
100	86–110	0,043+0,00019 <i>t_m</i>	0,057–0,051		
Вироби перлітоцементні, ГОСТ 18109–80, марки:					
250	250	0,07+0,00019 <i>t_m</i>	–	Від 20 до 600	Негорючі
300	300	0,076+0,00019 <i>t_m</i>	–		
350	350	0,081+0,00019 <i>t_m</i>	–		
Вироби теплоізоляційні вапняно- кремнеземисті, ГОСТ 24748–81, марки:					
200	200	0,069+0,00015 <i>t_m</i>	–	Від 20 до 600	Негорючі
225	225	0,078+0,00015 <i>t_m</i>			
Вироби мінераловатні з гофрованою струк- турою для промислової теплової ізоляції, ТУ 36.16.22–8–86, марки:	Залежно від діаметра ізольованої поверхні				
75	Від 66 до 98	0,041+0,00034 <i>t_m</i>	0,054–0,05	Від мінус 60 до 400	Негорючі
100	Від 84 до 130	0,042+0,0003 <i>t_m</i>			

Матеріал, виріб, ГОСТ або ТУ	Середня густина в конструкції ρ, кг/м ³	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в конструкції λ _к , Вт/(м·К) для поверхонь з температурою, °С		Температура застосування, °С	Група горючості
		20 і вище	19 і нижче		
Вироби теплоізоляційні вулканітові, ГОСТ 10179–74, марки: 300 350 400	300 350 400	0,074+0,00015 <i>t_m</i> 0,079+0,00015 <i>t_m</i> 0,084+0,00015 <i>t_m</i>	— — —	Від 20 до 600	Негорючі
Мати звуковбирні базальтові марки БЗМ, РСТ УССР 1977–87	До 80	0,04+0,0003 <i>t_m</i>	—	Від мінус 180 до 450 в обо- лонці зі скля- ної тканини; до 700 – в оболонці з кремнеземис- тої тканини	Негорючі
Мати мінераловатні прошивні, ГОСТ 21880–94, марки: 100 125	102–132 133–162	0,045+0,00021 <i>t_m</i> 0,049+0,0002 <i>t_m</i>	0,059–0,054	Від мінус 180 до 450 для мат на ткани- ні, сітці, по- лотні з скло- волокна; до 700 – на мета- левій сітці	Негорючі
Мати зі скляного штапельного волокна на синтетичному зв'язуючому, ГОСТ 10499–78, марки: МС–35 МС–50	40–56 58–80	0,04+0,0003 <i>t_m</i> 0,042+0,00028 <i>t_m</i>	0,048 0,047	Від мінус 60 до 180	Негорючі
Мати й вата з супертонкого скляного волок- на без зв'язуючого, ТУ 21 РСФСР 224–87	60–80	0,033+0,00014 <i>t_m</i>	0,044–0,037	Від мінус 180 до 400	Негорючі

Матеріал, виріб, ГОСТ або ТУ	Середня густина в конструкції ρ , кг/м ³	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в конструкції λ_k , Вт/(м·К) для поверхонь з температурою, °С		Температура застосування, °С	Група горючості
		20 і вище	19 і нижче		
Плити теплоізоляційні з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому, ГОСТ 9573–82, марки: 50 75 125 175	55–75 75–115 90–150 150–210	$0,04+0,00029t_m$ $0,043+0,00022t_m$ $0,044+0,00021t_m$ $0,052+0,0002t_m$	0,054–0,05 0,054–0,05 0,057–0,051 0,06 –0,054	Від мінус 60 до 400 Від мінус 180 до 400	Негорючі
Плити зі скляного штапельного волокна пі- вжорсткі, технічні, ГОСТ 10499–78, марки: ПШТ 50 ПШТ 75	42–58 59–86	$0,042+0,00035t_m$ $0,044+0,00023t_m$	0,053	Від мінус 60 до 180	Важкогорючі
Плити теплоізоляційні з мінеральної вати на бітумному зв'язуючому, ГОСТ 10140–80, марки: 75 100 150 200	75–115 90–120 121–180 151–200	– – – –	0,054–0,057 0,054–0,057 0,058–0,062 0,061–0,066	Від мінус 100 до 60	Важкогорючі
Плити теплоізоляційні з пінопласту на осно- ві резольних фенолформальдегідних смол, ГОСТ 20916–87, марки: 50 80 90	Не більше 50 Понад 70 до 80 Понад 80 до 100	$0,040+0,00022t_m$ $0,042+0,00023t_m$ $0,043+0,00019t_m$	0,049–0,042 0,051–0,045 0,057–0,051	Від мінус 180 до 130	Важкогорючі

Матеріал, виріб, ГОСТ або ТУ	Середня густина в конструкції ρ , кг/м ³	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в конструкції λ_k , Вт/(м·К) для поверхонь з температурою, °С		Температура застосування, °С	Група горючості
		20 і вище	19 і нижче		
Тканини полотнопрошивні скловолонисті, ТУ 6-48-0209777-1-88, марки: ХПС-Т-5 ХПС-Т-2,5	180-320 130-230	0,047+0,00023 t_m	0,053-0,047	Від мінус 200 до 550	Негорючі
Пісок перлітовий спучений дрібний, ГОСТ 10832-91, марки: 75 100 150	110 150 225	0,052+0,00012 t_m 0,055+0,00012 t_m 0,058+0,00012 t_m	0,05-0,042 0,054-0,047 —	Від мінус 200 до 875	Негорючі
Півциліндри й циліндри мінераловатні на синтетичному зв'язуючому, ГОСТ 23208-83, марки: 100 150 200	75-125 126-175 176-225	0,049+0,00021 t_m 0,051+0,0002 t_m 0,053+0,00019 t_m	0,047-0,053 0,054-0,059 0,062-0,057	Від мінус 180 до 400	Негорючі
Плити пінополістирольні, ГОСТ 15588-86, марки: 20 25 30, 40	20 25 30, 40	— — —	0,048-0,04 0,044-0,035 0,042-0,032	Від мінус 180 до 70	Горючі
Пінопласт плитковий, ТУ 6-05-1178-87, марки: ПС-4-40 ПС-4-60 ПС-4-65	40 60 65	— — —	0,041-0,032 0,048-0,039 0,048-0,039	Від мінус 180 до 60	Горючі

Матеріал, виріб, ГОСТ або ТУ	Середня густина в конструкції ρ , кг/м ³	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в конструкції λ_k , Вт/(м·К) для поверхонь з температурою, °С		Температура застосування, °С	Група горючості
		20 і вище	19 і нижче		
Пінопласт плитковий ПХВ, ТУ 6-05-1179–83, марки: ПХВ–1–85 ПХВ–1–115 ПХВ–2–150	85 115 150	– – –	0,040–0,030 0,043–0,032 0,047–0,036	Від мінус 180 до 60	Горючі
Пінопласт плитковий марки ПВ–1, ТУ 6-05-1158–87	65, 95	–	0,043–0,032	Від мінус 180 до 60	Горючі
Пінопласт полівінілхлоридний еластичний ПВХ–Э, ТУ 6-05-1269–75	150	–	0,05–0,04	Від мінус 180 до 60	Горючі
Пінопласт термореактивний ФК–20 і ФФ, жорсткий, ТУ 6–05–1303–76, марки: ФК–20 ФФ	170, 200 170, 200	– –	0,055–0,052 0,055–0,052	Від 0 до 120 Від мінус 60 до 150	Горючий Важкогорю- чий
Пінополіуретан ППУ–331/3 (заливальний)	40–60 60–80	– –	0,036–0,031 0,037–0,032	Від мінус 180 до 120	Горючий
Пінопласт поліуретановий еластичний ППУ–ЭТ, ТУ 6–05–1734–75	40–50	–	0,043–0,038	Від мінус 60 до 100	Горючий
Тканина голкопробивна скляна теплоізоля- ційна марки ИПС-Т-1000, ТУ 6-11-570–83	140	$0,047+0,00023t_m$	0,053–0,047	Від мінус 200 до 550	Негорюче
Ровінг (джгут) зі скляних комплексних ни- ток, ГОСТ 17139–79	200–250	–	0,065–0,062	Від мінус 180 до 450	Негорючий
Шнур азбестовий, ГОСТ 1779–83, марки: ШАП	100–160	$0,093+0,0002t_m$	–	От 20 до 220	Важко– горючий
ШАОН	750–600	$0,13+0,00026t_m$	–	От 20 до 400	Негорючий

Матеріал, виріб, ГОСТ або ТУ	Середня густина в конструкції ρ , кг/м ³	Теплопровідність теплоізоляційного матеріалу в конструкції λ_k , Вт/(м·К) для поверхонь з температурою, °С		Температура застосування, °С	Група горючості
		20 і вище	19 і нижче		
Шнур теплоізоляційний з мінеральної вати, ТУ 36-1695–79, марки: 200 250	200 250	$0,056+0,00019t_m$ $0,058+0,00019t_m$	$0,069-0,068$ –	Від мінус 180 до 600 залежно від матеріалу сітчастої тру- бки	У сітчастих трубках з металевого дроту й скля- ної нитки – негорючий; решта – важкогорючі
Полотна з мікро- та ультрасупертонкого скляномікрокристалічного штапельного во- локна з гірських порід, РСТ УССР 1970–86, марка БСТВ–ст	До 80	$0,041+0,00029t_m$	0,04	Від мінус 269 до 600	Негорючі
<p><i>Примітки:</i> 1) t_m – середня температура теплоізоляційного шару, °С; $t_m = (t_w + 40)/2$ – на відкритому повітрі в літній час, у приміщенні, у каналах, тунелях, технічних підпідлогових просторах, на горищах і в підвалинах будівель; $t_m = t_w/2$ – на відкритому повітрі в зимовий час, де t_w – температура речовини.</p> <p>2) Більше значення розрахункової теплопровідності теплоізоляційного матеріалу в конструкції для поверхонь з температурою 19 °С і нижче відноситься до температури речовини від мінус 60 то 20 °С, менше – до температури мінус 140 °С і нижче. Для проміжних значень температур теплопровідність визначається інтерполяцією.</p> <p>3) Для ізолювання поверхонь із застосуванням жорстких плит розрахункову теплопровідність слід збільшити на 10 %.</p> <p>4) Допускається застосування інших матеріалів, які відповідають вимогам п. 2.3 і 2.4.</p>					

Таблиця А.2. Розрахункові технічні характеристики матеріалів, які використовуються для ізоляції трубопроводів за безканальної прокладки

Матеріал	Номинальний діаметр трубопроводу	Середня густина ρ , кг/м ³	Теплопровідність сухого матеріалу λ , Вт/(м·К), за температури 20 °С	Максимальна температура речовини, °С
Армопінобетон	150–800	350–450	0,105–0,13	150
Бітумоперлит	50–400	450–550	0,11–0,13	130*
Бітумокерамзит	До 500	600	0,13	130*
Бітумовермикулит	До 500	600	0,13	130*
Пінополімербетон	100–400	400	0,07	150
Пінополіуретан	100–400	60–80	0,05	120
Фенольний поропласт ФЛ монолітний	До 1000	100	0,05	150
* Допускається застосування до температури 150 °С за умови якісного методу відпускання теплоти				

Таблиця А.3. Матеріали для покривного шару теплової ізоляції

Матеріал, ГОСТ або ТУ	Застосовувана товщина, мм	Група горючості
<i>1. Металеві</i>		
Листи з алюмінію та алюмінієвих сплавів, ГОСТ 21631–76, марки АД0, АД1, АМц, АМг2, В95	0,3; 0,5–1	Негорючі
Стрічки з алюмінію та алюмінієвих сплавів, ГОСТ 13726–78, марки АД0, АД1, АМц, АМг2, В95	0,25–1	Негорючі
Сталь тонколистова оцинкована з безперервною лінією, ГОСТ 14918–80	0,35–1	Негорюча
Сталь тонколистова покрівельна, ОСТ 14-11-196–86	0,5–0,8	Негорюча
Прокат тонколистовий з вуглецевої сталі якісної та звичайної якості, ГОСТ 16523–70	0,35–1	Негорючий
Оболонки гофровані для теплоізоляційних конструкцій відводів трубопроводів, ОСТ 36-67–82	0,2 2,5	Негорючі Горючі
Сталь рулонна холоднокатана з полімерним покриттям (металопласт), ТУ 14-1-1114–74	0,8–1,3	Важкогорюча

Матеріал, ГОСТ або ТУ	Застосовувана товщина, мм	Група горючості
2. На основі синтетичних полімерів		
Склотекстоліт конструкційний КАСТ–В, ГОСТ 10292–74Е	0,5–1,2	Горючий
Матеріали термопластмасові для захисту покриттів теплової ізоляції трубопроводів, ТУ 36-2168–85, марки:		
АПМ–1	2,2	Горючий
АПМ–2	2,1	Важкогорючий
АПМ–К	2,1	Горючий
Склопластик рулонний РСТ, ТУ6-11-145–80, марки РСТ–А, РСТ–Б, РСТ–Х	0,25–0,5	Важкогорючий
Склопластик марки ФСП (склопластик фенольний покрівельний), ТУ 6–11–150–76	0,3; 0,6	Горючий
Плівка вініпластова каландрована КПО, ГОСТ 16398–81	0,4–1	Горюча
Плівка з вторинної полівінілхлоридної сировини, ТУ 63.032.3–88	1,3	Горюча
Склотекстоліт покривний листовий СТПЛ, ТУ 36-1583–88, марки:		
СТПЛ–СБ	0,3	Важкогорючий
СТПЛ–ТБ	0,5	
СТПЛ–ВП	0,8	
3. На основі природних полімерів		
Руберойд, ГОСТ 10923–82, марка РКК–420	2–3	Горючий
Склоруберойд, ГОСТ 15879–70	2,5	Горючий
Толь покрівельний і гідроізоляційний, ГОСТ 10999–76, марки ТКК–350, ТКК–400	1,0–1,5	Горючий
Пергамін покрівельний, ГОСТ 2697–83	1,0–1,5	Горючий
Руберойд, покритий склотканиною, ТУ 21 ЭССР 48–83	–	Горючий
Ізол, ГОСТ 10296–79	2	Горючий

Матеріал, ГОСТ або ТУ	Застосовувана товщина, мм	Група горючості
<i>4. Мінеральні</i>		
Склоцемент текстолітовий для теплоізоляційних конструкцій, ТУ 36-940–85	1,5–2	Негорючий
Листи азбестоцементні плоскі, ГОСТ 18124–75	6–10	Негорючі
Листи азбестоцементні хвилясті уніфікованого профілю, ГОСТ 16233–77	5–8	Негорючі
Штукатурка азбестоцементна	10–20	Негорюча
<i>5. Дубльовані фольгою</i>		
Фольга алюмінієва дубльована для теплоізоляційних конструкцій, ТУ 36-1177–77	0,5–1,5	Дубльована папером і картоном – горюча, решта – важкогорючі
Фольгоруберойд для захисної гідроізоляції утеплювача трубопроводів, ТУ 21 ЭССР 69–83	1,7–2	Горючий
Фольгоізол, ГОСТ 20429–84	2–2,5	Горючий
<i>Примітка.</i> У разі застосування покривних шарів з листового металу необхідно враховувати характер і ступінь агресивності оточуючого середовища й виробництва.		

ДОДАТОК Б

НОРМИ ГУСТИНИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ КРІЗЬ ЗАІЗОЛЬОВАНУ ПОВЕРХНЮ ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВОДІВ З ПОЗИТИВНИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ

Таблиця Б.1. Норми густини теплового потоку для розташування на відкритому повітрі й кількості годин роботи на рік понад 5000

Номинальний діаметр трубопроводу	Середня температура теплоносія, °С												
	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
	Норми лінійної густини теплового потоку, Вт/м												
15	4	10	20	30	42	55	68	83	99	115	133	152	172
20	5	11	22	34	47	60	75	91	108	127	147	167	188
25	5	13	25	37	52	66	82	99	117	137	158	180	203
40	7	15	29	44	59	77	95	115	136	158	182	206	232
50	7	17	31	47	64	82	102	123	145	168	193	219	246
65	9	19	36	54	72	93	114	137	162	187	214	243	272
80	10	21	39	58	77	99	122	147	172	200	228	258	279
100	11	24	43	64	85	109	134	160	187	216	247	278	311
125	12	27	49	70	93	122	149	178	208	240	273	308	344
150	14	30	54	77	102	134	164	194	226	260	296	333	372
200	18	37	65	93	122	159	194	228	266	305	345	387	431
250	21	43	75	106	138	179	215	254	294	337	381	426	474
300	25	49	84	118	155	198	239	280	324	370	418	467	518
350	28	55	93	131	170	218	261	306	353	403	454	507	561
400	30	61	102	142	185	236	282	330	380	433	487	543	601
450	33	65	109	152	197	252	301	351	404	460	516	575	638
500	36	71	119	166	211	271	322	376	431	491	550	612	678
600	42	82	136	188	240	306	363	422	483	548	614	684	754
700	48	92	151	209	264	337	399	463	529	599	672	745	820
800	53	103	167	213	292	371	438	507	579	654	733	811	892
900	59	113	184	253	319	405	477	551	628	709	793	877	962
1000	65	124	201	275	346	438	516	595	677	763	853	930	1033
Криволінійні поверхні діаметром понад 1020 мм і плоскі	Норми поверхневої густини теплового потоку, Вт/м ²												
	19	35	54	70	85	105	120	135	150	165	180	194	209
Примітка. Проміжні значення норм густини теплового потоку необхідно визначати інтерполяцією.													

Таблиця Б.2. Норми густини теплового потоку для розташування на відкритому повітрі й кількості годин роботи на рік 5000 і менше

Номинальний діаметр трубопроводу	Середня температура теплоносія, °С												
	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
	Норми лінійної густини теплового потоку, Вт/м												
15	5	11	22	34	46	59	74	90	106	124	143	163	185
20	6	13	25	38	52	66	82	99	118	138	158	180	203
25	6	15	28	42	57	73	90	108	127	149	171	195	219
40	8	18	33	49	66	86	105	126	149	173	199	225	253
50	9	19	36	53	71	91	113	135	159	184	212	240	269
65	10	23	41	61	81	104	127	152	178	207	237	268	299
80	11	25	45	66	87	112	137	163	191	221	253	285	319
100	13	28	50	73	97	123	150	178	208	241	275	309	345
125	15	32	56	81	107	139	168	200	233	269	306	344	383
150	18	35	63	89	118	153	185	219	256	294	332	372	415
200	22	44	77	109	142	184	221	262	303	346	391	438	486
250	26	51	88	125	161	207	248	293	336	385	434	485	538
300	30	59	101	140	181	231	278	324	374	426	479	534	591
350	35	66	112	155	200	255	305	355	409	466	523	582	643
400	38	73	122	170	217	276	331	386	442	502	563	626	691
450	41	80	132	182	233	298	353	412	471	535	599	665	734
500	45	88	143	197	251	322	379	442	506	573	641	711	783
600	53	100	165	225	288	365	432	499	570	644	719	796	876
700	60	114	184	250	319	404	475	550	626	707	788	871	956
800	67	128	205	278	353	447	526	605	688	775	863	953	1045
900	75	141	226	306	388	487	574	660	749	843	937	1034	1132
1000	83	155	247	333	421	531	622	715	810	911	1011	1114	1223
Криволінійні поверхні діаметром понад 1020 мм і плоскі	Норми поверхневої густини теплового потоку, Вт/м ²												
	25	44	71	88	108	133	152	165	190	209	227	245	265
Примітка. Проміжні значення норм густини теплового потоку необхідно визначати інтерполяцією.													

Таблиця Б.3. Норми густини теплового потоку для розташування в приміщенні й тунелі та кількості годин роботи на рік понад 5000

[illegible]

Таблиця Б.4. Норми густини теплового потоку для розташування в приміщенні й тунелі та кількості годин роботи на рік 5000 і менше

Номинальний діаметр трубопроводу	Середня температура теплоносія, °С											
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
	Норми лінійної густини теплового потоку, Вт/м											
15	9	20	31	44	57	72	87	104	122	141	161	183
20	10	22	35	49	64	80	97	115	135	156	178	201
25	11	25	39	54	70	87	106	125	147	169	192	216
40	13	29	46	64	83	103	124	146	170	195	223	250
50	15	32	49	68	89	110	132	156	182	208	237	266
65	17	37	57	78	101	124	149	176	204	233	264	296
80	20	41	62	84	108	133	160	188	219	249	282	316
100	22	45	69	93	119	146	175	205	237	271	306	342
125	25	51	77	102	135	165	196	229	266	302	340	379
150	28	56	85	114	149	181	215	251	290	329	369	412
200	36	70	103	137	179	216	256	299	342	387	434	482
250	42	81	118	155	201	242	287	332	381	429	480	533
300	48	92	133	174	225	270	319	368	421	474	529	586
350	53	103	147	193	248	299	350	404	460	517	577	638
400	60	113	162	210	269	324	379	436	496	557	620	686
450	64	122	173	225	291	347	405	465	529	593	659	728
500	71	132	188	243	314	373	435	499	566	634	705	777
600	81	152	215	277	357	423	492	562	637	712	792	869
700	91	170	239	309	394	467	541	618	699	780	864	950
800	102	190	265	342	436	515	596	679	767	856	946	1037
900	114	209	292	375	478	563	650	740	835	929	1026	1129
1000	125	229	318	408	519	611	704	800	903	1003	1105	1211
Криволінійні поверхні діаметром понад 1020 мм і плоскі	Норми поверхневої густини теплового потоку, Вт/м ²											
	36	63	85	105	132	151	170	188	209	226	245	263
Примітки. 1) У разі розташування ізольованих поверхонь у тунелі до норм густини необхідно вводити коефіцієнт 0,85. 2) Проміжні значення норм густини теплового потоку необхідно визначати інтерполяцією.												

ДОДАТОК В

НОРМИ ГУСТИНИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ КРІЗЬ ЗАІЗОЛЬОВАНУ ПОВЕРХНЮ ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВОДІВ З НЕГАТИВНИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ

Таблиця В.1. Норми густини теплового потоку для розташування на відкритому повітрі

Номинальний діаметр трубопроводу	Середня температура речовини, °С										
	0	-10	-20	-40	-60	-80	-100	-120	-140	-160	-180
	Норми лінійної густини теплового потоку, Вт/м										
20	3	4	5	7	9	11	13	15	18	20	22
25	4	5	6	8	10	12	14	16	19	21	23
40	5	6	7	9	11	13	15	17	20	22	24
50	6	7	8	10	12	14	16	18	21	23	25
65	7	7	9	12	13	16	18	20	22	25	27
80	7	8	10	13	14	17	19	21	23	26	28
100	8	9	11	14	16	18	21	23	25	28	30
125	9	10	12	15	17	20	22	25	27	29	32
150	10	11	13	17	20	22	25	27	30	32	35
200	12	13	16	20	23	26	29	31	34	37	40
250	14	15	18	23	26	29	33	35	39	42	45
300	16	17	21	25	29	32	36	39	43	46	50
350	18	19	23	28	31	35	39	42	46	49	53
400	20	21	25	30	33	37	41	44	48	51	55
450	22	23	27	33	36	40	43	47	50	54	57
500	24	25	30	35	38	42	45	49	52	56	59
Криволінійні поверхні діаметром понад 600 мм і плоскі	Норми поверхневої густини теплового потоку, Вт/м ²										
	14	15	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Примітки. 1) Норми лінійної густини теплового потоку для за температури речовин від 0 до 19 °С, а також для $DN < 20$ потрібно визначати екстраполяцією. 2) Проміжні значення норм густини теплового потоку необхідно визначати інтерполяцією.											

Таблиця В.2. Норми густини теплового потоку для розташування в приміщенні

[illegible]

ДОДАТОК Г

НОРМИ ГУСТИНИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ КРІЗЬ ЗАІЗОЛЬОВАНУ ПОВЕРХНЮ ПАРОПРОВОДІВ

Таблиця Г.1. Норми густини теплового потоку крізь ізольовану поверхню через ізольовану поверхню паропроводів з конденсатопроводами за їх спільної прокладки в непрхідних каналах, Вт/м

Номинальний діаметр трубопроводу		Паро- провід	Кон- ден- сато- провід	Паро- провід	Кон- ден- сато- провід	Паро- провід	Кон- ден- сато- провід	Паро- провід	Кон- ден- сато- провід	Паро- провід	Кон- ден- сато- провід	Паро- провід	Кон- ден- сато- провід
Паропро- від	Конден- сатопровід	Розрахункова температура теплоносія, °С											
		115	100	150	100	200	100	250	100	300	100	350	100
25	25	28	22	36	22	49	22	61	22	77	22	95	22
30	25	29	22	38	22	52	22	65	22	83	22	100	22
40	25	31	22	40	22	54	22	70	22	88	22	105	22
50	25	34	22	43	22	62	22	77	22	95	22	113	22
65	30	38	25	51	25	70	25	85	25	105	24	124	24
80	40	44	27	55	27	74	26	90	26	110	26	130	25
100	40	47	27	59	27	79	26	97	26	118	26	140	25
125	50	52	29	64	29	86	28	105	28	128	28	151	28
150	70	56	33	69	32	93	31	113	31	138	31	170	31
200	80	65	35	81	35	107	34	130	34	157	34	184	34
250	100	73	38	90	38	119	37	143	37	176	37	206	37
300	125	80	41	100	40	132	40	159	40	191	40	223	40
350	150	88	46	108	45	142	45	171	44	205	44	240	44
400	180	94	51	115	50	152	50	183	49	219	49	255	49
450	200	101	54	124	53	161	53	194	53	232	52	269	52
500	250	108	61	132	60	171	59	207	59	248	59	287	58
600	300	121	67	147	66	191	66	228	65	272	65	313	64
700	300	131	67	159	66	206	66	244	65	291	64	336	63
800	300	142	67	172	66	222	66	264	65	—	—	—	—
<i>Примітки.</i> Проміжні значення норм густини теплового потоку потрібно визначати інтерполяцією.													

ДОДАТОК Д

НОРМИ ГУСТИНИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ КРІЗЬ ЗАІЗОЛЬОВАНУ ПОВЕРХНЮ ТРУБОПРОВОДІВ ДВОТРУБНИХ ВОДЯНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ У РАЗІ ПРОКЛАДКИ В НЕПРОХІДНИХ КАНАЛАХ

Таблиця Д.1. Норми густини теплового потоку для кількості годин роботи в рік 5000 і менше, Вт/м

Номинальний діаметр трубопроводу	Трубопровід					
	пода- валь- ний	зво- рот- ний	пода- валь- ний	зво- рот- ний	пода- валь- ний	зво- рот- ний
	Середньорічна температура теплоносія, °С					
	65	50	90	50	110	50
25	18	12	26	11	31	10
30	19	13	27	12	33	11
40	21	14	29	13	36	12
50	22	15	33	14	40	13
65	27	19	38	10	47	14
80	29	20	41	17	51	15
100	33	22	46	19	57	17
125	34	23	49	20	61	18
150	38	26	54	22	65	19
200	48	31	66	26	83	23
250	54	35	76	29	93	25
300	62	40	87	32	103	28
350	68	44	93	34	117	29
400	76	47	109	37	123	30
450	77	49	112	39	135	32
500	88	54	126	43	167	33
600	98	58	140	45	171	35
700	107	63	163	47	185	38
800	130	72	181	48	213	42
900	138	75	190	57	234	44
1000	152	78	199	59	249	49
1200	185	86	257	66	300	54
1400	204	90	284	69	322	58

Таблиця Д.2. Норми густини теплового потоку для кількості годин роботи в рік понад 5000, Вт/м

Номинальний діаметр трубопроводу	Трубопровід					
	пода- валь- ний	зво- рот- ний	пода- валь- ний	зво- рот- ний	пода- валь- ний	зво- рот- ний
	Середньорічна температура теплоносія, °С					
	65	50	90	50	110	50
25	16	11	23	10	28	9
30	17	12	24	11	30	10
40	18	13	26	12	32	11
50	20	14	28	13	35	12
65	23	16	34	15	40	13
80	25	17	36	16	44	14
100	28	19	41	17	48	15
125	31	21	42	18	50	16
150	32	22	44	19	55	17
200	39	27	54	22	68	21
250	45	30	64	25	77	23
300	50'	33	70	28	84	25
350	55	37	75	30	94	26
400	58	38	82	33	101	28
450	67	43	93	36	107	29
500	68	44	98	38	117	32
600	79	50	109	41	132	34
700	89	55	126	43	151	37
800	100	60	140	45	163	40
900	106	66	151	54	186	43
1000	117	71	158	57	192	47
1200	144	79	185	64	229	52
1400	152	82	210	68	252	56

Примітки: 1. Розрахункові середньорічні температури води у водяних теплових мережах 65, 90, 110 °С відповідають температурним графікам 95–70, 150–70, 180–70 °С.

2. Проміжні значення норм густини теплового потоку необхідно визначати інтерполяцією.

ДОДАТОК Е

НОРМИ ГУСТИНИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ КРІЗЬ ЗАІЗОЛЬОВАНУ ПОВЕРХНЮ ТРУБОПРОВІДІВ ДЛЯ ДВОТРУБНОЇ ПІДЗЕМНОЇ БЕЗКАНАЛЬНОЇ ПРОКЛАДКИ ВОДЯНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Таблиця Е.1. Норми густини теплового потоку
для кількості годин роботи в рік 5000 і менше, Вт/м

Номинальний діаметр трубопроводу	Трубопроводи водяних теплових мереж			
	подава- льний	зворот- ний	подава- льний	зворот- ний
	Середньорічна температура теплоносія, °С			
	65	50	90	50
25	36	27	48	26
50	44	34	60	32
65	50	38	67	36
80	51	39	69	37
100	55	42	74	40
125	61	46	81	44
150	69	52	91	49
200	77	59	101	54
250	83	63	111	59
300	91	69	122	64
350	101	75	133	69
400	108	80	140	73
450	116	86	151	78
500	123	91	163	83
600	140	103	186	94
700	156	112	203	100
800	169	122	226	109

Таблиця Е.2. Норми густини теплового потоку
для кількості годин роботи в рік понад 5000, Вт/м

Номинальний діаметр трубопроводу	Трубопроводи водяних теплових мереж			
	подава- льний	зворот- ний	подава- льний	зворот- ний
	Середньорічна температура теплоносія, °С			
	65	50	90	50
25	33	25	44	24
50	40	31	54	29
65	45	34	60	33
80	46	35	61	34
100	49	38	65	35
125	53	41	72	39
150	60	46	80	43
200	66	50	89	48
250	72	55	96	51
300	79	59	105	56
350	86	65	113	60
400	91	68	121	63
450	97	72	129	67
500	105	78	138	72
600	117	87	156	80
700	126	93	170	86
800	140	102	186	93

Примітки док табл. Е1 і Е2:

1. Проміжні значення норм густини теплового потоку необхідно визначати інтерполяцією.
2. Розрахункові середньорічні температури води у водяних мережах 65, 90 °С відповідають температурним графікам 95–70, 150–70 °С.
3. У разі застосування як теплоізоляційного шару пінополіуретану, фенольного поропласту ФЛ, полімербетону значення норм густини необхідно визначати з урахуванням коефіцієнта K_2 , приведенного в табл. Е3.

Таблиця Е.3. Коефіцієнт K_2 , який ураховує зміну норм густини теплового потоку у разі застосування теплоізоляційного шару з пінополіуретану, полімербетону, фенольного поропласту ФЛ

Матеріал ізоляційного шару	Номинальний діаметр трубопроводу			
	25–65	80–150	200–300	350–500
	Коефіцієнт K_2			
Пінополіуретан	0,5	0,6	0,7	0,8
Фенольний поропласт ФЛ	0,5	0,6	0,7	0,8
Полімербетон	0,7	0,8	0,9	1,0

ДОДАТОК Ж

РОЗРАХУНКОВІ КОЕФІЦІЄНТИ ТЕПЛОВІДДАЧІ

Розрахункові коефіцієнти тепловіддачі від зовнішньої поверхні покривного шару залежно від виду й температури ізолюваної поверхні, виду розрахунку товщини теплової ізоляції й застосовуваного покривного шару наведені в таблиці Ж.1.

Таблиця Ж.1. Значення розрахункових коефіцієнтів тепловіддачі від зовнішньої поверхні покривного шару

Температура ізолюваної поверхні, °С	Ізолювана поверхня	Вид розрахунку ізоляції	Коефіцієнт тепловіддачі α_e , Вт/(м²·К), для розташування ізолюваних поверхонь			
			у приміщеннях, тунелях для покривних шарів з коефіцієнтом випромінювання C		на відкритому повітрі, для покривних шарів з коефіцієнтом випромінювання C	
			малим	високим	малим	високим
Понад 20	Плоска поверхня, об'єднання, вертикальні трубопроводи	За заданою температурою на поверхні покривного шару	6	11	6	11
		Решта видів розрахунків	7	12	35	35
	Горизонтальні трубопроводи	За заданою температурою на поверхні покривного шару	6	10	6	10
		Решта видів розрахунків	6	11	29	29
19 і нижче	Всі види ізолюваних об'єктів	Запобігання конденсації вологи з оточуючого повітря на поверхні покривного шару	5	7	—	—
		Решта видів розрахунків	6	11	29	29

Примітки. 1) Для трубопроводів, які прокладаються в каналах, коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_e = 8$ Вт/(м²·К).

2) До покривних шарів з малим коефіцієнтом випромінювання C належать покриття з $C \leq 2,33$ Вт/(м²·К⁴) і менше, у тому числі з тонколистової оцинкованої сталі, листів з алюмінію та алюмінієвих сплавів, а також інших матеріалів, пофарбованих алюмінієвою фарбою. До покриттів з низьким коефіцієнтом випромінювання належать покриття з $C > 2,33$ Вт/(м²·К⁴), у тому числі склопластики та інші матеріали на основі синтетичних і природних полімерів, азбестоцементні листи, штукатурки, покривні шари, пофарбовані різними фарбами, крім алюмінієвої.

3) Коефіцієнт тепловіддачі від повітря в каналі до стінки каналу допускається брати рівним 8 Вт/(м²·К).

ДОДАТОК И

ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ $x \ln(x)$

Таблиця И.1. Значення функції $x \ln(x)$ (у границях $1 \leq x \leq 10$)

x	$x \ln(x)$	x	$x \ln(x)$	x	$x \ln(x)$	x	$x \ln(x)$	x	$x \ln(x)$
1,000	0,000	2,125	1,602	3,250	3,831	4,375	6,457	5,500	9,376
1,025	0,025	2,150	1,646	3,275	3,885	4,400	6,519	5,525	9,444
1,050	0,051	2,175	1,690	3,300	3,940	4,425	6,581	5,550	9,512
1,075	0,078	2,200	1,735	3,325	3,995	4,450	6,643	5,575	9,579
1,100	0,105	2,225	1,779	3,350	4,050	4,475	6,706	5,600	9,648
1,125	0,133	2,250	1,825	3,375	4,105	4,500	6,768	5,625	9,716
1,150	0,161	2,275	1,870	3,400	4,161	4,525	6,831	5,650	9,784
1,175	0,189	2,300	1,916	3,425	4,217	4,550	6,894	5,675	9,852
1,200	0,219	2,325	1,962	3,450	4,272	4,575	6,957	5,700	9,921
1,225	0,249	2,350	2,008	3,475	4,328	4,600	7,020	5,725	9,989
1,250	0,279	2,375	2,054	3,500	4,385	4,625	7,083	5,750	10,058
1,275	0,310	2,400	2,101	3,525	4,441	4,650	7,146	5,775	10,127
1,300	0,341	2,425	2,148	3,550	4,498	4,675	7,210	5,800	10,196
1,325	0,373	2,450	2,195	3,575	4,554	4,700	7,274	5,825	10,265
1,350	0,405	2,475	2,243	3,600	4,611	4,725	7,337	5,850	10,334
1,375	0,438	2,500	2,291	3,625	4,668	4,750	7,401	5,875	10,403
1,400	0,471	2,525	2,339	3,650	4,726	4,775	7,465	5,900	10,472
1,425	0,505	2,550	2,387	3,675	4,783	4,800	7,529	5,925	10,542
1,450	0,539	2,575	2,436	3,700	4,841	4,825	7,594	5,950	10,611
1,475	0,573	2,600	2,484	3,725	4,899	4,850	7,658	5,975	10,681
1,500	0,608	2,625	2,533	3,750	4,957	4,875	7,723	6,000	10,751
1,525	0,644	2,650	2,583	3,775	5,015	4,900	7,787	6,025	10,820
1,550	0,679	2,675	2,632	3,800	5,073	4,925	7,852	6,050	10,890
1,575	0,715	2,700	2,682	3,825	5,131	4,950	7,917	6,075	10,960
1,600	0,752	2,725	2,732	3,850	5,190	4,975	7,982	6,100	11,031
1,625	0,789	2,750	2,782	3,875	5,249	5,000	8,047	6,200	11,312
1,650	0,826	2,775	2,832	3,900	5,308	5,025	8,112	6,400	11,880
1,675	0,864	2,800	2,883	3,925	5,367	5,050	8,178	6,600	12,455
1,700	0,902	2,825	2,934	3,950	5,426	5,075	8,243	6,800	13,035
1,725	0,941	2,850	2,985	3,975	5,486	5,100	8,309	7,000	13,621
1,750	0,979	2,875	3,036	4,000	5,545	5,125	8,375	7,200	14,213
1,775	1,018	2,900	3,088	4,025	5,605	5,150	8,441	7,400	14,811
1,800	1,058	2,925	3,139	4,050	5,665	5,175	8,507	7,600	15,414
1,825	1,098	2,950	3,191	4,075	5,725	5,200	8,573	7,800	16,022
1,850	1,138	2,975	3,243	4,100	5,785	5,225	8,639	8,000	16,636
1,875	1,179	3,000	3,296	4,125	5,845	5,250	8,706	8,200	17,254
1,900	1,220	3,025	3,348	4,150	5,906	5,275	8,772	8,400	17,877
1,925	1,261	3,050	3,401	4,175	5,967	5,300	8,839	8,600	18,505
1,950	1,302	3,075	3,454	4,200	6,027	5,325	8,906	8,800	19,138
1,975	1,344	3,100	3,507	4,225	6,088	5,350	8,972	9,000	19,775
2,000	1,386	3,125	3,561	4,250	6,149	5,375	9,039	9,200	20,417
2,025	1,429	3,150	3,614	4,275	6,211	5,400	9,107	9,400	21,063
2,050	1,472	3,175	3,668	4,300	6,272	5,425	9,174	9,600	21,713
2,075	1,515	3,200	3,722	4,325	6,334	5,450	9,241	9,800	22,367
2,100	1,558	3,225	3,776	4,350	6,395	5,475	9,309	10,000	23,026

ДОДАТОК К

РОЗМІРИ ЕЛІПТИЧНИХ ВІДБОРТОВАНИХ ДНИЩ ІЗ ВНУТРІШНІМ БАЗОВИМ ДІАМЕТРОМ (витяг з ГОСТ 6533–78 і ГОСТ ДСТУ 28759.2:2008)

Таблиця К.1. Розміри еліптичних відборттованих днищ з внутрішніми базовими діаметрами

Діаметр днища D , мм	Діаметр фланця D_f , мм	Величина відборттовки, мм	Площа поверхні днища F_d , м ²	Об'єм порожни- ни днища V_d , м ³
400	520	25	0,20	0,0115
		40	0,22	0,0134
600	720	25	0,44	0,0352
		40	0,47	0,0395
800	920	40	0,79	0,0868
		60	0,84	0,0969
1000	1130	40	1,21	0,1617
		80	1,34	0,1931
1200	1330	40	1,71	0,2704
		80	1,86	0,3156
1400	1530	40	2,30	0,4191
		80	2,48	0,4807
1600	1730	40	2,98	0,6141
		80	3,18	0,6945
1800	1930	60	3,85	0,9126
		100	4,08	1,0143
2000	2130	60	4,71	1,2309
		100	4,96	1,3565
2200	2330	60	5,66	1,6155
		100	5,94	1,7675
2400	2530	60	6,70	2,0727
		100	7,00	2,2536
2600	2750	60	7,82	2,6087
		100	8,14	2,8210
2800	2950	60	9,03	3,2298
		100	9,38	3,4760
3000	3150	60	10,32	3,9423
		100	10,70	4,2249
3200	3350	60	11,70	4,7523
		100	12,10	5,0738
3400	3580	60	13,17	5,6662
		100	13,60	6,0292
3600	3780	60	14,73	6,6902
		100	15,18	7,0971
3800	3980	60	16,37	7,8305
		100	16,84	8,2839
4000	4180	80	18,35	9,3446
		120	18,85	9,8520

ДОДАТОК Л

ПРИКЛАД ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА, РОЗТАШОВАНОГО НА ВІДКРИТОМУ ПОВІТРІ

Завдання на проектування

Здійснити вибір елементів теплоізоляційної конструкції й визначити товщину її теплоізоляційного шару для ізолювання кожухотрубного теплообмінника, розміщеного на відкритому повітрі в межах міста Вінниця. Апарат двоходовий за трубним простором з циліндричним корпусом та еліптичним днищем, а також циліндричною розподільною камерою і плоскою кришкою. Опори розташовані на корпусі апарата. Товщина стінок обичайки корпуса і розподільної камери $S_k = 0,01$ м, товщина стінки днища $S_d = 0,01$ мм, а кришки – $S_{кр} = 0,02$ мм. Середня температура середовища t_w у міжтрубному просторі апарата 90 °С, а в трубному – 150 °С. Кількість годин роботи апарата на рік $Z = 6000$ год.

Апарат виготовлено зі сталі 12МХ ГОСТ 20072–74. Внутрішній діаметр обичайок корпуса й розподільної камери $D_{int} = 1,2$ м, довжина корпуса $L_k = 4,0$ м, довжина розподільної камери $L_{рк} = 0,8$ м.

Розрахунок товщини теплоізоляційного шару здійснити за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню, а також за заданою температурою на поверхні ізоляції. Визначити кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції теплообмінника.

Л.1. Вибір елементів теплоізоляційної конструкції

Беручи до уваги особливості об'єкта, що піддається теплоізолюванню (розміри, форма, місце розміщення), а також температуру середовищ в об'єкті, як теплоізоляційний матеріал використовуватимемо мати мінералізовані прошивні марки 125 в обкладці з усіх боків склотканиною (ГОСТ 21880–94), а як покривний шар теплоізоляційної конструкції – тонколистову оцинковану сталь. Пристрої для кріплення зовнішньої теплової ізоляції на сталевих стаціонарних апаратах з температурою речовини в них від мінус 100 до 600 °С мають відповідати ГОСТ 17314–81.

Л.2. Розрахунок товщини теплоізоляційного шару елементів теплообмінника

Розрахунок товщини теплоізоляційного шару теплообмінника здійснюємо за методикою, наведеною в п. 5.

Л.2.1. Розрахунок товщини теплоізоляційного шару корпусу

Л.2.1.1. Розрахунок за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню

Корпус теплообмінника належить до поверхонь з радіусом кривизни 0,5 м і представляє собою круговий циліндр із зовнішнім діаметром

$$d = D_{int} + 2S_k = 1,2 + 2 \cdot 0,01 = 1,22 \text{ м.}$$

Оскільки теплообмінник розташований на відкритому повітрі, а також беручи до уваги, що покрівельний шар теплоізоляційної конструкції має малий коефіцієнт випромінювання (тонколистова оцинкована сталь), то коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції корпусу до оточуючого середовища становить $\alpha_e = 35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (табл. Ж.1).

Розрахункова температура оточуючого середовища t_e для об'єктів, розміщених на відкритому повітрі, для розрахунку за нормованою густиною теплового потоку дорівнює середній за рік: для міста Вінниці $t_e = 6,7^\circ\text{C}$ (див. п. 5.3.4).

Середня температура теплоізоляційного шару корпусу теплообмінника, розміщеного на відкритому повітрі, становить (див. прим. до табл. А.1)

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{90 + 40}{2} = 65^\circ\text{C},$$

де t_w – температура середовища в міжтрубному просторі теплообмінника, $^\circ\text{C}$.

Оскільки середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розміщених на відкритому повітрі, влітку більша ніж взимку (див. прим. до табл. А.1)

$$t'_m = \frac{t_w}{2} = \frac{90}{2} = 45^\circ\text{C},$$

то подальший розрахунок коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційного шару корпусу здійснюватиме для літніх умов.

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару (табл. А.1)

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 t_w = 0,049 + 0,0002 \cdot 65 = 0,062 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції становить

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q K_1} = \frac{90 - 6,7}{50,2 \cdot 1,0} = 1,66 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

де $q = 50,2 \text{ Вт}/\text{м}^2$ – норма поверхневої густини теплового потоку (табл. Б.1);

K_1 – коефіцієнт, що враховує район будівництва й місце встановлення обладнання (для території України $K_1 = 1,0$ (п. 5.3.1)).

Термічний опір теплоізоляційної конструкції

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 1,66 - \frac{1}{35} - 0 = 1,63 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

де R_m – термічний опір неметалевої стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; оскільки апарат виготовлено зі сталевого прокату, то $R_m = 0$.

Розрахункова товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \lambda_k R_k = 0,062 \cdot 1,63 = 0,101 \text{ м.}$$

Розрахункова товщина теплоізоляційного виробу, виготовленого з матеріалу, що ущільнюється під час монтажу (див. (5.2)):

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,101 \cdot 1,2 \frac{1,22 + 0,101}{1,22 + 2 \cdot 0,101} = 0,113 \text{ м,}$$

де K_c – коефіцієнт ущільнення, який для мінераловатних прошивних мат дорівнює 1,2 (табл. 5.2).

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу циліндричного корпусу з умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізововану поверхню відповідно до табл. 2.3 беремо 120 мм.

Л.2.1.2. Розрахунок за заданою температурою на поверхні ізоляції

Для за ізовованого об'єкта, розміщеного на відкритому повітрі з металевим покривним шаром, температура на поверхні ізоляційної конструкції має бути $t_i = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ (п. 5.2).

Оскільки теплообмінник розміщено на відкритому повітрі, причому покрівельний шар теплоізоляційної конструкції корпусу має низький коефіцієнт випромінювання (тонколистова оцинкована сталь), то коефіцієнт тепловіддачі від теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища становить $\alpha_1 = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (табл. Ж.1).

Розрахункова температура оточуючого середовища t_e для об'єктів, розміщених на відкритому повітрі, під час розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізововану поверхню дорівнює середній максимальній температурі найбільш жаркого місяця (п. 5.3.4), яка для міста Вінниці становить $t_e = 24,6 \text{ }^\circ\text{C}$ (табл. 5.6).

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару (див. п. Л.2.1.1) дорівнює $\lambda_k = 0,062 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Розрахункова товщина теплоізоляційного шару корпусу, яка забезпечує задану температуру на поверхні ізоляції (див. залежність (5.19))

$$\delta_k = \frac{\lambda_k (t_w - t_i)}{\alpha_e (t_i - t_e)} = \frac{0,062(90 - 55)}{6(55 - 24,6)} = 0,0119 \text{ м.}$$

З урахуванням ущільнення матеріалу розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становитиме

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,0119 \cdot 1,2 \frac{1,22 + 0,0119}{1,22 + 2 \cdot 0,0119} = 0,014 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу циліндричного корпусу з умови розрахунку за заданою температурою на поверхні ізоляції відповідно до табл. 2.3 беремо 40 мм.

Л.2.1.3. Вибір виконавчої товщини теплоізоляційного шару корпусу

Виконавчу товщину теплоізоляційного шару корпусу беремо як більшу з визначених за умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню (120 мм) і за заданою температурою на поверхні ізоляції (40 мм). Отже, виконавча товщина теплоізоляційного шару корпусу становитиме 120 мм.

Л.2.2. Розрахунок товщини теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища

Л.2.2.1. Розрахунок за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню

Розподільна камера належить до поверхонь з радіусом кривизни понад 0,5 м і представляє собою круговий циліндр із зовнішнім діаметром

$$d = D_{int} + 2S_k = 1,2 + 2 \cdot 0,01 = 1,22 \text{ м.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції корпусу до оточуючого середовища становить $\alpha_e = 35 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, а розрахункова температура оточуючого середовища – $t_e = 6,7^\circ \text{C}$ (див. п. Л.2.1.1).

Середня температура теплоізоляційного шару розподільної камери та еліптичного днища теплообмінника, розміщеного на відкритому повітрі, становить (див. прим. до табл. А.1)

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{150 + 40}{2} = 95^\circ \text{C},$$

де t_w – температура середовища в трубному просторі теплообмінника, $^\circ \text{C}$.

Оскільки середня температура теплоізоляційного шару для об'єктів, розміщених на відкритому повітрі, влітку більша ніж взимку (див. прим. до табл. А.1)

$$t'_m = \frac{t_w}{2} = \frac{150}{2} = 75^\circ \text{C},$$

то подальший розрахунок коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційного шару розподільної камери та еліптичного днища здійснюватиме для літніх умов.

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару (табл. А.1)

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 t_w = 0,049 + 0,0002 \cdot 95 = 0,068 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції становить

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q K_1} = \frac{150 - 6,7}{70 \cdot 1,0} = 2,05 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де $q = 70 \text{ Вт/м}^2$ – норма поверхневої густини теплового потоку (табл. Б.1);

K_1 – коефіцієнт, що враховує район будівництва й місце встановлення обладнання (для території України $K_1 = 1,0$ (п. 5.3.1)).

Термічний опір теплоізоляційної конструкції

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 2,05 - \frac{1}{35} - 0 = 2,02 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де R_m – термічний опір неметалевої стінки; оскільки апарат виготовлено зі сталевого прокату, то $R_m = 0$.

Розрахункова товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \lambda_k R_k = 0,068 \cdot 2,018 = 0,137 \text{ м.}$$

Розрахункова товщина теплоізоляційного виробу, виготовленого з матеріалу, що ущільнюється під час монтажу (див. (5.2)):

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,137 \cdot 1,2 \frac{1,22 + 0,137}{1,22 + 2 \cdot 0,137} = 0,149 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу розподільної камери з умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізолювану поверхню відповідно до табл. 2.3 беремо 140 мм.

Тепер визначимо товщину теплоізоляційного шару еліптичного днища.

Оскільки відмінність еліптичного днища й розподільної камери з точки зору об'єкту, що підлягає ізолюванню, полягає лише в різній кривизні поверхні (з розподільною камерою та еліптичним днищем контактує теплоносій трубного простору), то розрахунок товщини теплоізоляційного шару еліптичного днища з урахуванням ущільнення теплоізоляційного шару під час монтажу становить

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,137 \cdot 1,2 \frac{2,41 + 0,137}{2,41 + 2 \cdot 0,137} = 0,156 \text{ м.}$$

де $d_{ед}$ – діаметр еліптичного днища в його вершині, м [8]:

$$d_{ед} = 2D_{int} + S_d = 2 \cdot 1,2 + 0,01 = 2,41 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу еліптичного днища з умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізолювану поверхню відповідно до табл. 2.3 беремо 160 мм.

Л.2.2.2. Розрахунок за заданою температурою на поверхні ізоляції

Як і під час розрахунку теплоізоляції корпусу теплообмінника температура на поверхні теплоізоляційних виробів розподільної камери та еліптично-

го днища має бути $t_i = 55$ °С, коефіцієнт тепловіддачі від теплоізоляційних конструкцій до навколишнього середовища також становитиме $\alpha_1 = 6$ Вт/(м²·К), а розрахункова температура оточуючого середовища – $t_e = 24,6$ °С (див. п. Л.2.1.2).

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару дорівнює $\lambda_k = 0,068$ Вт/(м·К) (див. п. Л.2.2.1).

Розрахункова товщина теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища, яка забезпечує задану температуру на поверхні ізоляції (див. (5.19))

$$\delta_k = \frac{\lambda_k (t_w - t_i)}{\alpha_e (t_i - t_e)} = \frac{0,068(150 - 55)}{6(55 - 24,6)} = 0,0354 \text{ м.}$$

З урахуванням ущільнення матеріалу розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становитиме:

– для розподільної камери

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,0354 \cdot 1,2 \frac{1,22 + 0,0354}{1,22 + 2 \cdot 0,0354} = 0,0413 \text{ м;}$$

– для еліптичного днища (див. п. Л.2.2.1)

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,0354 \cdot 1,2 \frac{2,41 + 0,0354}{2,41 + 2 \cdot 0,0354} = 0,0419 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища за заданою температурою на поверхні ізоляції беремо 60 мм (табл. 2.3).

Л.2.2.3. Вибір виконавчої товщини теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища

Виконавчу товщину теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища беремо як більшу з визначених за умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню (140 мм і 160 мм, відповідно) і за заданою температурою на поверхні ізоляції (60 мм для обох шарів), отже виконавча товщина теплоізоляційного шару розподільної камери становитиме 140 мм, а виконавча товщина теплоізоляційного шару еліптичного днища – 160 мм.

Л.2.3. Розрахунок шару теплоізоляції плоскої кришки

Л.2.3.1. Розрахунок за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню

Плоска кришка як об'єкт для теплового ізолювання належить до плоских поверхонь.

Допоміжні дані для розрахунку відповідають зазначеним у п. Л.2.1.1:

- коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції корпусу до оточуючого середовища становить $\alpha_e = 35 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$;
- розрахункова температура оточуючого середовища $t_e = 6,7^\circ\text{С}$.

Середня температура теплоізоляційного шару плоскої кришки теплообмінника дорівнює середній температурі теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичної кришки (п. Л.2.2.1): $t_m = 95^\circ\text{С}$. Відповідно і коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару становить $\lambda_k = 0,068 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Значення опору теплопередачі теплоізоляційної конструкції, термічного опору теплоізоляційної конструкції, а також розрахункової товщини теплоізоляційного шару відповідають результатам розрахунку п. 2.2.1.

Розрахункова же товщина теплоізоляційного виробу, виготовленого з матеріалу, що ущільнюється під час монтажу (див. залежність (5.1)) становитиме

$$\delta_1 = \delta_k K_c = 0,137 \cdot 1,2 = 0,164 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу плоскої кришки з умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню відповідно до табл. 2.3 беремо 160 мм.

Л.2.3.2. Розрахунок за заданою температурою на поверхні ізоляції

Розрахункова товщина теплоізоляційного шару плоскої кришки (оскільки вона як і розподільна камера та еліптичне днище належить до елементів трубного простору), яка забезпечує задану температуру на поверхні ізоляції, дорівнює $\delta_k = 0,0354 \text{ м}$ (див. п. Л.2.2.2).

З урахуванням ущільнення матеріалу розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становитиме (див. залежність (5.1))

$$\delta_1 = \delta_k K_c = 0,0354 \cdot 1,2 = 0,043 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу плоскої кришки з умови розрахунку за заданою температурою на поверхні ізоляції відповідно до табл. 2.3 беремо 60 мм.

Л.2.3.3. Вибір виконавчої товщини теплоізоляційного шару плоскої кришки

Виконавчу товщину теплоізоляційного шару плоскої кришки беремо як більшу з визначених за умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню (160 мм) і за заданою температурою на поверхні ізоляції (60 мм). Отже, виконавча товщина теплоізоляційного шару плоскої кришки становитиме 160 мм.

Л.3. Визначення кількості теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції теплообмінника

Спочатку визначимо кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції елементів міжтрубного простору теплообмінника, а саме його корпус.

Середня температура теплоізоляційного шару корпусу становить

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{90 + 40}{2} = 65 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де t_w – середня температура теплоносія в міжтрубному просторі, $^\circ\text{C}$.

Розрахункова температура оточуючого середовища t_e для об'єктів, розміщених на відкритому повітрі, дорівнює середній за рік: для міста Вінниця $t_e = 6,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ (див. п. 5.3.4).

Масова теплоємність ізоляції (табл. 6.1):

– у момент запуску теплообмінника

$$c' = 0,8 + 0,0005 t_e = 0,8 + 0,0005 \cdot 6,7 = 0,803 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

– у момент виходу теплообмінника на стаціонарний режим

$$c'' = 0,8 + 0,0005 t_m = 0,8 + 0,0005 \cdot 65 = 0,833 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Об'єм теплоізоляційного шару корпусу

$$V_{i \text{ мтп}} = V_{i \text{ к}} = V_{i \text{ кл}} L_{\text{к}} = 0,505 \cdot 4 = 2,02 \text{ м}^3,$$

де $V_{i \text{ мтп}}$ – об'єм ізоляції елементів міжтрубного простору теплообмінника, м^3 ;

$V_{i \text{ к}}$ – об'єм ізоляції корпусу, м^3 ;

$V_{i \text{ кл}} = 0,505 \text{ м}^3$ – об'єм ізоляції 1 м довжини корпусу апарата (визначають згідно з табл. 3.3 за умови зовнішнього діаметра апарата 1220 мм і товщини ізоляції $\delta_{i \text{ к}} = 120 \text{ мм}$);

$L_{\text{к}}$ – довжина корпусу апарата, м.

Кількість теплоти, закумульованої тепловою ізоляцією корпусу

$$Q_{i \text{ мтп}} = V_{i \text{ мтп}} \rho_i (c'' t_i'' - c' t_i') = 2,02 \cdot 147,5 (65 \cdot 0,833 - 6,7 \cdot 0,803) = 1,45 \cdot 10^4 \text{ кДж},$$

де $\rho_i = 147,5 \text{ кг/м}^3$ – середня густина теплоізоляції корпусу (згідно з табл. А.1 для мінераловатних прошивних мат марки 125).

Тепер визначимо кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції елементів трубного простору теплообмінника, а саме еліптичного днища, розподільної камери та плоскої кришки.

Середня температура теплоізоляційного шару елементів трубного простору становить

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{150 + 40}{2} = 95 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де t_w – середня температура теплоносія в трубному просторі, $^\circ\text{C}$.

Масова теплоємність ізоляції в момент виходу теплообмінника на стаціонарний режим

$$c'' = 0,8 + 0,0005 t_m = 0,8 + 0,0005 \cdot 95 = 0,848 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Об'єм теплоізоляції шару розподільної камери

$$V_{i \text{ рк}} = V_{i \text{ рк1}} L_{\text{рк}} = 0,598 \cdot 0,8 = 0,478 \text{ м}^3,$$

де $V_{i \text{ рк1}} = 0,598 \text{ м}^3$ – об'єм ізоляції 1 м довжини розподільної камери (визначають згідно з табл. 3.3 за умови зовнішнього діаметра апарата 1220 мм і товщини ізоляції $\delta_{i \text{ рк}} = 140 \text{ мм}$);

$L_{\text{рк}}$ – довжина розподільної камери, м.

Об'єм теплоізоляції еліптичного днища (визначають згідно з табл. 3.3 за умови зовнішнього діаметра апарата 1220 мм і товщини ізоляції $\delta_{i \text{ ед}} = 160 \text{ мм}$): $V_{i \text{ ед}} = 0,351 \text{ м}^3$.

Об'єм теплоізоляції плоскої кришки

$$V_{i \text{ пк}} = \frac{\pi D_{\text{ф пк}}^2}{4} \delta_{i \text{ пк}} = \frac{\pi \cdot 1,33^2}{4} 0,16 = 0,222 \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{ф пк}}$ – діаметр фланця плоскої кришки, м (табл. К.1):

$\delta_{i \text{ пк}}$ – товщина ізоляції плоскої кришки, м.

Об'єм теплоізоляційного шару елементів трубного простору

$$V_{i \text{ тп}} = V_{i \text{ рк}} + V_{i \text{ ед}} + V_{i \text{ пк}} = 0,478 + 0,351 + 0,222 = 1,051 \text{ м}^3.$$

Кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції елементів трубного простору теплообмінника

$$Q_{i \text{ тп}} = V_{i \text{ тп}} \rho_i (c_i'' t_i'' - c_i' t_i') = 1,051 \cdot 147,5 (95 \cdot 0,848 - 6,7 \cdot 0,803) = 1,17 \cdot 10^4 \text{ кДж},$$

Загальна кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції апарата

$$Q_i = Q_{i \text{ мтп}} + Q_{i \text{ тп}} = 1,45 \cdot 10^4 + 1,17 \cdot 10^4 = 2,62 \cdot 10^4 \text{ кДж}.$$

Висновки

У результаті розрахунку теплоізоляційного покриття теплообмінного апарата, розташованого на відкритому повітрі в місті Вінниця, за нормованою густиною теплового потоку крізь шар ізоляції та за заданою температурою на поверхні ізоляції було вибрано мінералізовані прошивні теплоізоляційні мати (ГОСТ 21880–94) марки 125 в обкладці з усіх боків скляною тканиною, а як покривний шар теплоізоляційної конструкції – тонколистову оцинковану сталь, а також визначено виконавчу товщину шарів теплової ізоляції:

- циліндричного корпуса – 120 мм;
- розподільної камери – 140 мм;
- еліптичного днища – 160 мм;
- плоскої кришки – 160 мм.

Об'єм теплоізоляції елементів міжтрубного простору (корпуса) становить $2,02 \text{ м}^2$, елементів трубного простору (розподільної камери, еліптичного днища і плоскої кришки) – $1,019 \text{ м}^2$.

Кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції апарату, становить $2,62 \cdot 10^4 \text{ кДж}$ (26,2 МДж).

Для кріплення ізоляції до циліндричного корпусу, розподільної камери, еліптичного днища та плоскої кришки вибрано пристрої: С1-Ш2/160 ГОСТ 17314–81.

Матеріал знімних деталей (подвійний штир) – сталевий низьковуглецевий дріт загального призначення 5-0-4 згідно з ГОСТ 3282–74; матеріал підвіски – сталь марки Ст3 ДСТУ 2651:2005 (ГОСТ 380–2005) (див. п. 4.2).

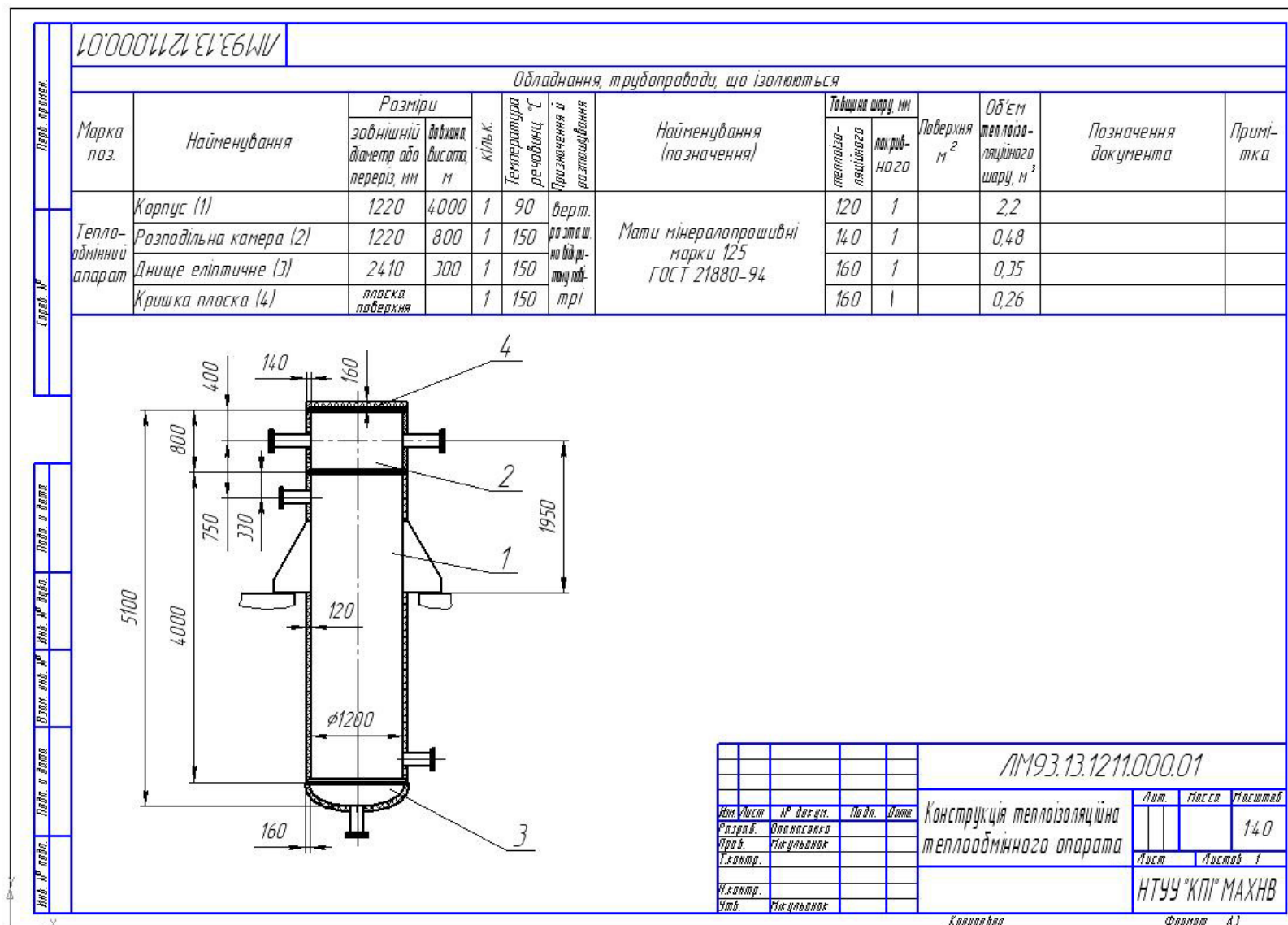


Рис. Л.1. Кресленик теплової ізоляції кожухотрубного теплообмінника, розміщеного на відкритому повітрі

ДОДАТОК М

ПРИКЛАД ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА, РОЗТАШОВАНОГО В ПРИМІЩЕННІ

Завдання на проектування

Здійснити вибір елементів теплоізоляційної конструкції й визначити товщину її теплоізоляційного шару для ізолювання кожухотрубного теплообмінника, розміщеного в приміщенні в межах міста Запоріжжя. Апарат двоохолодовий за трубним простором з циліндричним корпусом та еліптичним днищем, а також циліндричною розподільною камерою і плоскою кришкою. Опори розташовані на корпусі апарата. Товщина стінок обичайки корпуса і розподільної камери $S_k = 0,01$ м, товщина стінки днища $S_d = 0,012$ мм, а кришки – $S_{кр} = 0,02$ мм. Середня температура середовища t_w у міжтрубному просторі апарата $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, у трубному – $140\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кількість годин роботи апарата на рік – $Z = 3000$ год.

Апарат виготовлено зі сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–72. Внутрішній діаметр обичайок корпуса й розподільної камери $D_{int} = 2,0$ м, довжина корпуса $L_k = 5,0$ м, довжина розподільної камери $L_{рк} = 0,8$ м.

Розрахунок товщини теплоізоляційного шару здійснити за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню, а також за заданою температурою на поверхні ізоляції. Визначити кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції теплообмінника.

М.1. Вибір елементів теплоізоляційної конструкції

Беручи до уваги особливості об'єкта, що піддається теплоізолюванню (розміри, форма, місце розміщення), а також температуру середовищ в об'єкті, як теплоізоляційний матеріал використовуватимемо мати мінералізовані прошивні марки 125 в обкладці з усіх боків склотканиною (ГОСТ 21880–94), а як покривний шар теплоізоляційної конструкції – тонколистову оцинковану сталь. Пристрої для кріплення зовнішньої теплової ізоляції на сталевих стаціонарних апаратах з температурою речовини в них від мінус 100 до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ мають відповідати ГОСТ 17314–81.

М.2. Розрахунок товщини теплоізоляційного шару елементів теплообмінника

Розрахунок товщини теплоізоляційного шару теплообмінника здійснюємо за методикою, наведеною в п. 5.

М.2.1. Розрахунок товщини теплоізоляційного шару корпусу

М.2.1.1. Розрахунок за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню

Корпус теплообмінника належить до поверхонь з радіусом кривизни 0,5 м і представляє собою круговий циліндр із зовнішнім діаметром

$$d = D_{int} + 2S_k = 2,0 + 2 \cdot 0,012 = 2,024 \text{ м.}$$

Оскільки теплообмінник розміщено на відкритому повітрі, а також беручи до уваги, що покрівельний шар теплоізоляційної конструкції має малий коефіцієнт випромінювання (тонколистова оцинкована сталь), то коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції корпусу до оточуючого середовища становить $\alpha_e = 7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (табл. Ж.1).

Розрахункову температуру оточуючого середовища t_e для об'єктів, розміщених у приміщенні, для розрахунку за нормованою густиною теплового потоку приймає рівною $t_e = 20^\circ\text{C}$ (див. п. 5.3.4; оскільки в завданні на розрахунок відсутні відомості стосовно її значення).

Середня температура теплоізоляційного шару корпусу теплообмінника, розміщеного на відкритому повітрі, становить (див. прим. до табл. А.1)

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{80 + 40}{2} = 60^\circ\text{C}.$$

де t_w – температура середовища в міжтрубному просторі теплообмінника, $^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару (табл. А.1)

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 t_w = 0,049 + 0,0002 \cdot 60 = 0,061 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції становить

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q K_1} = \frac{80 - 20}{52,2 \cdot 1,0} = 1,15 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

де $q = 52,2 \text{ Вт}/\text{м}^2$ – норма поверхневої густини теплового потоку (табл. Б.4);

K_1 – коефіцієнт, що враховує район будівництва й місце встановлення обладнання (для території України $K_1 = 1,0$ (п. 5.3.1)).

Термічний опір теплоізоляційної конструкції

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 1,15 - \frac{1}{7} - 0 = 1,01 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$

де R_m – термічний опір неметалевої стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; оскільки апарат виготовлено зі сталевого прокату, то $R_m = 0$.

Розрахункова товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \lambda_k R_k = 0,061 \cdot 1,01 = 0,062 \text{ м.}$$

Розрахункова товщина теплоізоляційного виробу, виготовленого з матеріалу, що ущільнюється під час монтажу (див. (5.2)):

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,062 \cdot 1,2 \frac{1,22 + 0,062}{1,22 + 2 \cdot 0,062} = 0,072 \text{ м},$$

де K_c – коефіцієнт ущільнення, який для мінераловатних прошивних мат дорівнює 1,2 (табл. 5.2).

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу циліндричного корпусу з умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізолювану поверхню відповідно до табл. 2.3 беремо 80 мм.

М.2.1.2. Розрахунок за заданою температурою на поверхні ізоляції

Для розміщеного в приміщенні заізолюваного об'єкта, що містить середовище з температурою 100 °С і менше (оскільки з корпусом контактує середовище міжтрубного простору з температурою 80 °С), температура на поверхні ізоляційної конструкції має бути $t_i = 35$ °С (п. 5.2).

Оскільки теплообмінник розміщено в приміщенні, причому покрівельний шар теплоізоляційної конструкції корпусу має низький коефіцієнт випромінювання (тонколистова оцинкована сталь), то коефіцієнт тепловіддачі від теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища становить $\alpha_1 = 6$ Вт/(м²·К) (табл. Ж.1).

Розрахункова температура оточуючого середовища t_e для об'єктів, розміщених у приміщенні, беремо $t_e = 20$ °С (оскільки в завданні на проектування відсутні відповідні дані; див. п. 5.3.4).

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару (див. п. М.2.1.1) дорівнює $\lambda_k = 0,061$ Вт/(м·К).

Розрахункова товщина теплоізоляційного шару корпусу, яка забезпечує задану температуру на поверхні ізоляції (див. залежність (5.19))

$$\delta_k = \frac{\lambda_k (t_w - t_i)}{\alpha_e (t_i - t_e)} = \frac{0,061(80 - 35)}{6(35 - 20)} = 0,031 \text{ м}.$$

З урахуванням ущільнення матеріалу розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становитиме

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,031 \cdot 1,2 \frac{2,024 + 0,031}{2,024 + 2 \cdot 0,031} = 0,037 \text{ м}.$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу циліндричного корпусу з умови розрахунку за заданою температурою на поверхні ізоляції відповідно до табл. 2.3 беремо 40 мм.

М.2.1.3. Вибір виконавчої товщини теплоізоляційного шару корпусу

Виконавчу товщину теплоізоляційного шару корпусу беремо як більшу з

визначених за умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню (80 мм) і за заданою температурою на поверхні ізоляції (40 мм). Отже, виконавча товщина теплоізоляційного шару корпуса становитиме 80 мм.

М.2.2. Розрахунок товщини теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища

М.2.2.1. Розрахунок за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню

Розподільна камера належить до поверхонь з радіусом кривизни понад 0,5 м і представляє собою круговий циліндр із зовнішнім діаметром

$$d = D_{int} + 2S_k = 2,0 + 2 \cdot 0,012 = 2,024 \text{ м.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції корпуса до оточуючого середовища становить $\alpha_e = 7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, а розрахункова температура оточуючого середовища – $t_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (див. п. М.2.1.1).

Середня температура теплоізоляційного шару розподільної камери та еліптичного днища теплообмінника, розміщеного в приміщенні, становить (див. прим. до табл. А.1)

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{140 + 40}{2} = 90 \text{ }^\circ\text{C},$$

де t_w – температура середовища в трубному просторі теплообмінника, $^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару (табл. А.1)

$$\lambda_k = 0,049 + 0,0002 t_w = 0,049 + 0,0002 \cdot 90 = 0,067 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі теплоізоляційної конструкції становить

$$R_{tot} = \frac{t_w - t_e}{q K_1} = \frac{140 - 20}{80,6 \cdot 1,0} = 1,49 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де $q = 80,6 \text{ Вт/м}^2$ – норма поверхневої густини теплового потоку (табл. Б.4);

K_1 – коефіцієнт, що враховує район будівництва й місце встановлення обладнання (для території України $K_1 = 1,0$ (п. 5.3.1)).

Термічний опір теплоізоляційної конструкції

$$R_k = R_{tot} - \frac{1}{\alpha_e} - R_m = 1,49 - \frac{1}{7} - 0 = 1,35 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де R_m – термічний опір неметалевої стінки; оскільки апарат виготовлено зі сталевих прокату, то $R_m = 0$.

Розрахункова товщина теплоізоляційного шару

$$\delta_k = \lambda_k R_k = 0,067 \cdot 1,35 = 0,09 \text{ м.}$$

Розрахункова товщина теплоізоляційного виробу, виготовленого з матеріалу, що ущільнюється під час монтажу (див. (5.2)):

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,09 \cdot 1,2 \frac{2,024 + 0,09}{2,024 + 2 \cdot 0,09} = 0,104 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу розподільної камери з умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізолювану поверхню відповідно до табл. 2.3 беремо 100 мм.

Тепер визначимо товщину теплоізоляційного шару еліптичного днища.

Оскільки відмінність еліптичного днища й розподільної камери з точки зору об'єкту, що підлягає ізолюванню, полягає лише в різній кривизні поверхні (з розподільною камерою та еліптичним днищем контактує теплоносій трубного простору), то розрахунок товщини теплоізоляційного шару еліптичного днища з урахуванням ущільнення теплоізоляційного шару під час монтажу становить

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,09 \cdot 1,2 \frac{4,012 + 0,09}{4,012 + 2 \cdot 0,09} = 0,106 \text{ м.}$$

де $d_{\text{ед}}$ – діаметр еліптичного днища в його вершині, м [8]:

$$d_{\text{ед}} = 2D_{\text{int}} + S_{\text{д}} = 2 \cdot 2,0 + 0,012 = 4,012 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу еліптичного днища з умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізолювану поверхню відповідно до табл. 2.3 беремо 120 мм.

М.2.2.2. Розрахунок за заданою температурою на поверхні ізоляції

Для розміщеного в приміщенні заізолюваного об'єкта, що містить середовище з температурою понад 100 °С (оскільки з розподільною камерою та еліптичним днищем контактує середовище трубного простору з температурою 140 °С), температура на поверхні ізоляційної конструкції має бути $t_i = 45$ °С (п. 5.2).

Як і під час розрахунку теплоізоляції корпусу коефіцієнт тепловіддачі від теплоізоляційних конструкцій розподільної камери та еліптичного днища до навколишнього середовища також становитиме $\alpha_1 = 6$ Вт/(м²·К), а розрахункова температура оточуючого середовища – $t_e = 20$ °С (див. п. М.2.1.2).

Коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару дорівнює $\lambda_k = 0,067$ Вт/(м·К) (див. п. М.2.2.1).

Розрахункова товщина теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища, яка забезпечує задану температуру на поверхні ізоляції (див. (5.19))

$$\delta_k = \frac{\lambda_k (t_w - t_i)}{\alpha_e (t_i - t_e)} = \frac{0,067(140 - 45)}{6(45 - 20)} = 0,042 \text{ м.}$$

З урахуванням ущільнення матеріалу розрахункова товщина теплоізо-

ляційного виробу становитиме:

– для розподільної камери

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,042 \cdot 1,2 \frac{2,024 + 0,042}{2,024 + 2 \cdot 0,042} = 0,049 \text{ м};$$

– для еліптичного днища (див. п. М.2.2.1)

$$\delta_1 = \delta_k K_c \frac{d + \delta_k}{d + 2\delta_k} = 0,042 \cdot 1,2 \frac{4,012 + 0,042}{4,012 + 2 \cdot 0,042} = 0,05 \text{ м}.$$

Виконавчу товщину теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища за заданою температурою на поверхні ізоляції беремо 60 мм (табл. 2.3).

М.2.2.3. Вибір виконавчої товщини теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища

Виконавчу товщину теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичного днища беремо як більшу з визначених за умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню (100 мм і 120 мм, відповідно) і за заданою температурою на поверхні ізоляції (60 мм для обох шарів), отже виконавча товщина теплоізоляційного шару розподільної камери становитиме 100 мм, а виконавча товщина теплоізоляційного шару еліптичного днища – 120 мм.

М.2.3. Розрахунок шару теплоізоляції плоскої кришки

М.2.3.1. Розрахунок за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню

Плоска кришка як об'єкт для теплового ізолювання належить до плоских поверхонь.

Допоміжні дані для розрахунку відповідають зазначеним у п. М.2.1.1:

– коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції корпусу до оточуючого середовища становить $\alpha_e = 7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

– розрахункова температура оточуючого середовища $t_e = 20 \text{ }^\circ\text{С}$.

Середня температура теплоізоляційного шару плоскої кришки теплообмінника дорівнює середній температурі теплоізоляційних шарів розподільної камери та еліптичної кришки (п. М.2.2.1): $t_m = 90 \text{ }^\circ\text{С}$. Відповідно і коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного шару становить $\lambda_k = 0,067 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Значення опору теплопередачі теплоізоляційної конструкції, термічного опору теплоізоляційної конструкції, а також розрахункової товщини теплоізоляційного шару відповідають результатам розрахунку п. 2.2.1.

Розрахункова же товщина теплоізоляційного виробу, виготовленого з матеріалу, що ущільнюється під час монтажу (див. залежність (5.1)) становитиме

$$\delta_1 = \delta_k K_c = 0,09 \cdot 1,2 = 0,108 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу плоскої кришки з умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню відповідно до табл. 2.3 беремо 120 мм.

М.2.3.2. Розрахунок за заданою температурою на поверхні ізоляції

Розрахункова товщина теплоізоляційного шару плоскої кришки (оскільки вона як і розподільна камера та еліптичне днище належить до елементів трубного простору), яка забезпечує задану температуру на поверхні ізоляції, дорівнює $\delta_k = 0,042 \text{ м}$ (див. п. М.2.2.2).

З урахуванням ущільнення матеріалу розрахункова товщина теплоізоляційного виробу становитиме (див. залежність (5.1))

$$\delta_1 = \delta_k K_c = 0,042 \cdot 1,2 = 0,05 \text{ м.}$$

Виконавчу товщину теплоізоляційного виробу плоскої кришки з умови розрахунку за заданою температурою на поверхні ізоляції відповідно до табл. 2.3 беремо 60 мм.

М.2.3.3. Вибір виконавчої товщини теплоізоляційного шару плоскої кришки

Виконавчу товщину теплоізоляційного шару плоскої кришки беремо як більшу з визначених за умови розрахунку за нормованою густиною теплового потоку крізь заізольовану поверхню (120 мм) і за заданою температурою на поверхні ізоляції (60 мм). Отже, виконавча товщина теплоізоляційного шару плоскої кришки становитиме 120 мм.

М.3. Визначення кількості теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції теплообмінника

Спочатку визначимо кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції елементів міжтрубного простору теплообмінника, а саме його корпусу.

Середня температура теплоізоляційного шару корпусу становить

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{80 + 40}{2} = 60 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де t_w – середня температура теплоносія в міжтрубному просторі, $^\circ\text{C}$.

Розрахункову температуру оточуючого середовища t_e для об'єктів, розміщених у приміщенні, для розрахунку за нормованою густиною теплового потоку приймає рівною $t_e = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ (див. п. М.2.1.1; оскільки в завданні на розрахунок відсутні відомості стосовно її значення).

Масова теплоємність ізоляції (табл. 6.1):

– у момент запуску теплообмінника

$$c' = 0,8 + 0,0005 t_e = 0,8 + 0,0005 \cdot 20 = 0,81 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

– у момент виходу теплообмінника на стаціонарний режим

$$c'' = 0,8 + 0,0005 t_m = 0,8 + 0,0005 \cdot 60 = 0,83 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Об'єм теплоізоляційного шару корпусу

$$V_{i \text{ мтп}} = V_{i \text{ к}} = V_{i \text{ кл}} L_{\text{к}} = 0,53 \cdot 4 = 2,65 \text{ м}^3,$$

де $V_{i \text{ мтп}}$ – об'єм ізоляції елементів міжтрубного простору теплообмінника, м^3 ;

$V_{i \text{ к}}$ – об'єм ізоляції корпусу, м^3 ;

$V_{i \text{ кл}} = 0,53 \text{ м}^3$ – об'єм ізоляції 1 м довжини корпусу апарата (визначають згідно з табл. 3.3 за умови зовнішнього діаметра апарата 2020 мм і товщини ізоляції $\delta_{i \text{ к}} = 80 \text{ мм}$);

$L_{\text{к}}$ – довжина корпусу апарата, м.

Кількість теплоти, закумульованої тепловою ізоляцією корпусу

$$Q_{i \text{ мтп}} = V_{i \text{ мтп}} \rho_i (c_i'' t_i'' - c_i' t_i') = 2,65 \cdot 147,5 (60 \cdot 0,83 - 20 \cdot 0,81) = 1,31 \cdot 10^4 \text{ кДж},$$

де $\rho_i = 147,5 \text{ кг/м}^3$ – середня густина теплоізоляції корпусу (згідно з табл. А.1 для мінераловатних прошивних мат марки 125).

Тепер визначимо кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції елементів трубного простору теплообмінника, а саме еліптичного днища, розподільної камери та плоскої кришки.

Середня температура теплоізоляційного шару елементів трубного простору становить

$$t_m = \frac{t_w + 40}{2} = \frac{140 + 40}{2} = 90 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де t_w – середня температура теплоносія в трубному просторі, $^\circ\text{C}$.

Масова теплоємність ізоляції в момент виходу теплообмінника на стаціонарний режим

$$c'' = 0,8 + 0,0005 t_m = 0,8 + 0,0005 \cdot 90 = 0,845 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Об'єм теплоізоляції шару розподільної камери

$$V_{i \text{ рк}} = V_{i \text{ ркл}} L_{\text{рк}} = 0,67 \cdot 0,8 = 0,536 \text{ м}^3,$$

де $V_{i \text{ ркл}} = 0,67 \text{ м}^3$ – об'єм ізоляції 1 м довжини розподільної камери (визначають згідно з табл. 3.3 за умови зовнішнього діаметра апарата 2020 мм і товщини ізоляції $\delta_{i \text{ рк}} = 100 \text{ мм}$);

$L_{\text{рк}}$ – довжина розподільної камери, м.

Об'єм теплоізоляції еліптичного днища (визначають згідно з табл. 3.3 за умови зовнішнього діаметра апарата 2020 мм і товщини ізоляції $\delta_{i \text{ ед}} = 120 \text{ мм}$): $V_{i \text{ ед}} = 0,647 \text{ м}^3$.

Об'єм теплоізоляції плоскої кришки

$$V_{i \text{ пк}} = \frac{\pi D_{\text{ф пк}}^2}{4} \delta_{i \text{ пк}} = \frac{\pi \cdot 2,13^2}{4} 0,12 = 0,428 \text{ м}^3,$$

де $D_{\text{ф пк}}$ – діаметр фланця плоскої кришки, м (табл. К.1):

$\delta_{i \text{ пк}}$ – товщина ізоляції плоскої кришки, м.

Об'єм теплоізоляційного шару елементів трубного простору

$$V_{i \text{ тп}} = V_{i \text{ рк}} + V_{i \text{ ед}} + V_{i \text{ пк}} = 0,436 + 0,647 + 0,428 = 1,611 \text{ м}^3.$$

Кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції елементів трубного простору теплообмінника

$$Q_{i \text{ тп}} = V_{i \text{ тп}} \rho_i (c_i'' t_i'' - c_i' t_i') = 1,611 \cdot 147,5 (90 \cdot 0,845 - 20 \cdot 0,81) = 1,42 \cdot 10^4 \text{ кДж},$$

Загальна кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції апарата

$$Q_i = Q_{i \text{ мтп}} + Q_{i \text{ тп}} = 1,31 \cdot 10^4 + 1,42 \cdot 10^4 = 2,73 \cdot 10^4 \text{ кДж}.$$

Висновки

У результаті розрахунку теплоізоляційного покриття теплообмінного апарата, розташованого в приміщенні в місті Запоріжжя, за нормованою густиною теплового потоку крізь шар ізоляції та за заданою температурою на поверхні ізоляції було вибрано мінералізовані прошивні теплоізоляційні мати (ГОСТ 21880–94) марки 125 в обкладці з усіх боків скляною тканиною, а як покривний шар теплоізоляційної конструкції – тонколистову оцинковану сталь, а також визначено виконавчу товщину шарів теплової ізоляції:

- циліндричного корпусу – 80 мм;
- розподільної камери – 100 мм;
- еліптичного днища – 120 мм;
- плоскої кришки – 120 мм.

Об'єм теплоізоляції елементів міжтрубного простору (корпуса) становить $1,31 \text{ м}^3$, елементів трубного простору (розподільної камери, еліптичного днища і плоскої кришки) – $1,42 \text{ м}^3$.

Кількість теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції апарату, становить $2,73 \cdot 10^4 \text{ кДж}$ (27,3 МДж).

Для кріплення ізоляції до циліндричного корпусу, розподільної камери, еліптичного днища та плоскої кришки вибрано пристрої: С1-Ш2/160 ГОСТ 17314–81.

Матеріал знімних деталей (подвійний штир) – сталевий низьковуглецевий дріт загального призначення 5-0-4 згідно з ГОСТ 3282–74; матеріал підвіски – сталь марки Ст3 ДСТУ 2651:2005 (ГОСТ 380–2005) (див. п. 4.2).

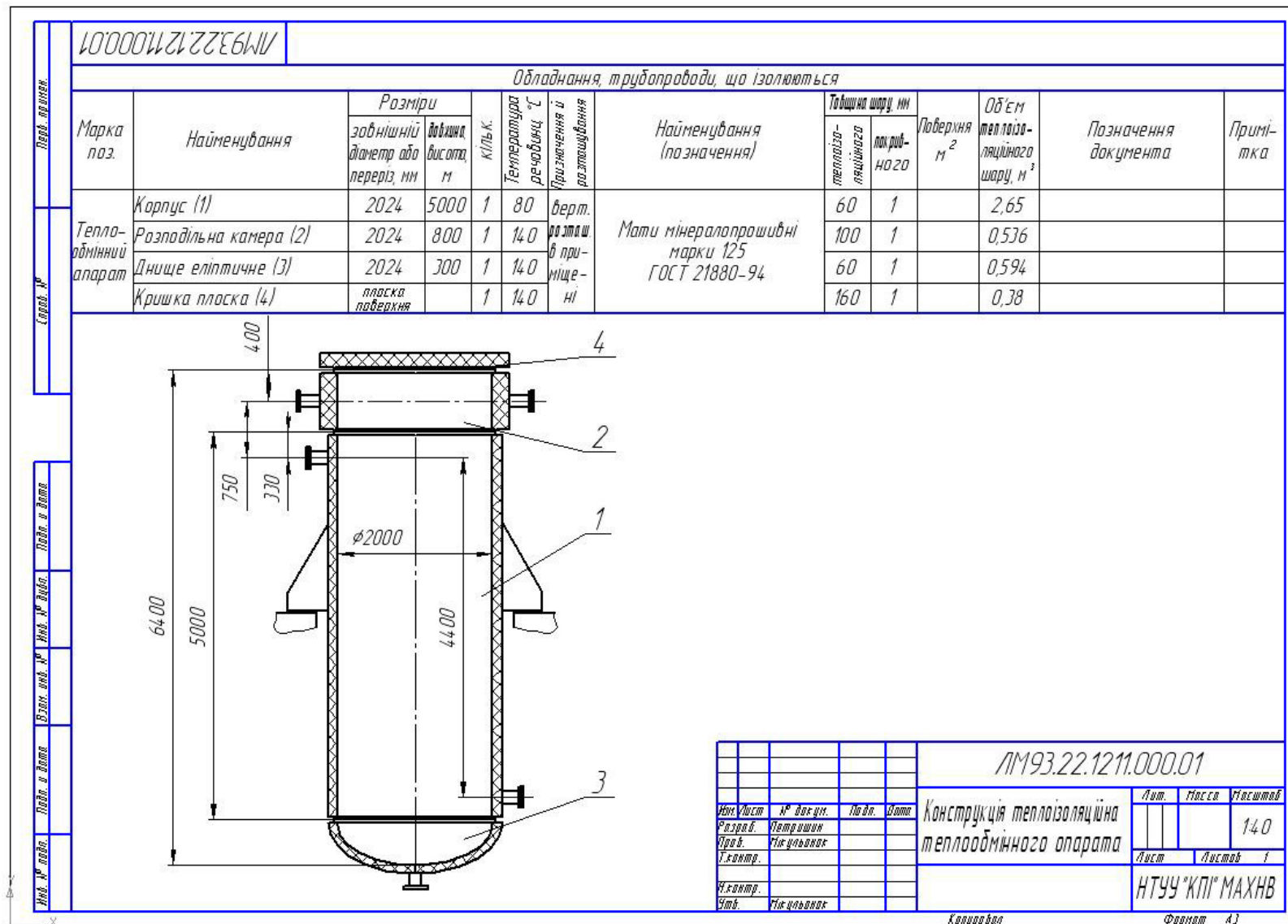


Рис. М.1. Кресленник теплової ізоляції кожухотрубного теплообмінника, розміщеного в приміщенні

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНИХ ДОКУМЕНТІВ

ГОСТ 4.201–79	Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы и изделия теплоизоляционные. Номенклатура показателей
ГОСТ 12.3.038–85	Система стандартов безопасности труда. Строительство. Работы по тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. Требования безопасности
ГОСТ 380–2005 (ДСТУ 2651:2005)	Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки
ГОСТ 618–73	Фольга алюминиевая для технических целей. Технические условия
ГОСТ 6533–78	Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры
ГОСТ 10296–79	Изол. Технические условия
ГОСТ 10354–82	Пленка полиэтиленовая. Технические условия
ГОСТ 16381–77	Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования
ГОСТ 17314–81	Устройства для крепления тепловой изоляции стальных сосудов и аппаратов. Конструкции и размеры. Технические требования
ГОСТ 25951–83	Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия
ГОСТ 28759.2:2008	Фланцы сосудов и аппаратов стальные плоские приварные. Конструкция и размеры
ДСТУ 2656–94	Скловолокно та вироби з нього. Терміни та визначення
ДСТУ Б А.1.1-5–94	Система стандартизації та нормування в будівництві. Загальні фізико-технічні характеристики та експлуатаційні властивості будівельних матеріалів
ДСТУ Б А.1.1-12–94	Система стандартизації та нормування в будівництві. Вироби будівельного призначення з мінерального волокна. Терміни та визначення
ДСТУ Б А.1.1-15–94	Система стандартизації та нормування в будівництві. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Терміни та визначення
ДСТУ Б А.1.1-19–94	Система стандартизації та нормування в будівництві. Перліт. Матеріали і вироби перлітові
ДСТУ Б А.2.4-9–95 (ГОСТ 21.405–93)	Система проектної документації для будівництва. Правила виконання робочої документації теплової ізоляції обладнання і трубопроводів
ДСТУ Б В.2.7-8–94	Строительные материалы. Плиты пенополистирольные. Технические условия
ДСТУ Б В.2.7-15–95	Будівельні матеріали. Вироби перлітобетонітові теплоізоляційні. Технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-56–96 (ГОСТ 10499–95)	Будівельні матеріали. Вироби теплоізоляційні зі скляного штапельного волокна. Технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-97–2000 (ГОСТ 9573–96)	Будівельні матеріали. Вироби із мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому. Технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-99–2000 (ГОСТ 22950–95)	

ДСТУ Б В.2.7-98–2000 (ГОСТ 21880–94)	Будівельні матеріали. Мати прошивні із мінеральної вати теплоізоляційні. Технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-99–2000 (ГОСТ 22950–95)	Будівельні матеріали. Плити мінераловатні підвищеної жорсткості на синтетичному зв'язуючому. Технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-101–2000 (ГОСТ 30547–97)	Будівельні матеріали. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови
СНиП 2.01.01–82	Строительная климатология и геофизика
СНиП 2.04.14–88	Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов
СНиП 21-01–97	Пожарная безопасность зданий и сооружений

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Андреев И. А.* Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни: навч. посіб. / І. А. Андреев, О. Г. Зубрій, І. О. Мікульонок. – К.: ІЗМН, 1999. – 148 с.
2. *Васильченко В. Т.* Справочник конструктора металлических конструкций / В. Т. Васильченко, А. Н. Рутман, Е. П. Лукьяненко. – К: Будівельник, 1980. – 288 с.
3. *Изоляция.* Материалы и технологии : справ. пособие / рук. проекта С. М. Кочергин. – М: Стройинформ, 2006. – 655 с. – (Серия «Застройщик»).
4. *Исаченко В. П.* Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М: Энергия, 1975. – 488 с.
5. *Лащинский А. А.* Конструирование сварных химических аппаратов: справочник / А. А. Лащинский. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
6. *Матюхин А. Н.* Теплоизоляционные работы / А. Н. Матюхин. – М.: Высш. шк., 1979. – 200 с.
7. *Михеев М. А.* Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М: Энергия, 1977. – 344 с.
8. *Мікульонок І. О.* Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підруч. / І. О. Мікульонок. – К.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2010. – 412 с
9. *Мікульонок І. О.* Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв: навч. посіб. / І. О. Мікульонок. – К.: Наук. думка, 1999. – 152 с.
10. *Павлов К. Ф.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
11. *Процеси та обладнання хімічної технології: підруч. у 2-х частинах* / Я.М. Корнієнко, Ю.Ю. Лукач, І.О. Мікульонок та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 716 с.
12. *Расчет процесса теплопроводности: методические указания к выполнению расчетно-графической работы № 1 по тепломассообмену* / сост. И. Н. Засядько, Н. В. Харченко. – К: КИСИ, 1988. – 28 с.
13. *Строительная климатология и геофизика: СНиП 2.01.01–82.* – [Чинний від 1984-01-01]. – М.: Минстрой России, 1996. – 140 с. – (Строительные нормы и правила).
14. *Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов: СНиП 2.04.14–88.* – [Чинний від 1990-01-01]. – М.: Госстрой СССР, 1989. – 30 с. – (Строительные нормы и правила).
15. *Тепловая изоляция: Справочник по специальным работам* / под ред. Г. Ф. Кузнецова. – М: Стройиздат, 1973. – 439 с.
16. *Теплоизоляция.* Материалы, конструкции, технологии : справ. пособие / гл. ред. С. М. Кочергин. – М: Стройинформ, 2008. – 440 с. – (Серия «Строитель»; 4/2008).
17. *Хижняков С. В.* Практические расчеты тепловой изоляции / С. В. Хижняков. – М: Энергия, 1976. – 200 с.
18. *Физические величины: справочник* / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.; под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ОСНОВНІ ТЕРМІНИ, ВИЗНАЧЕННЯ, ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕННЯ	4
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕПЛОВУ ІЗОЛЯЦІЮ ОБЛАДНАННЯ	
І ТРУБОПРОВОДІВ	12
1.1. Загальні відомості.....	12
1.2. Класифікація теплоізоляційних матеріалів і виробів	12
1.3. Загальні технічні вимоги до теплоізоляційних матеріалів і виробів.....	13
1.4. Найменування та класифікаційні ознаки теплоізоляційних матеріалів і виробів	14
2. ВИМОГИ ДО ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ, ВИРОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ	16
2.1. Вимоги до теплоізоляційних матеріалів і виробів	16
2.2. Вимоги до теплоізоляційних конструкцій	21
2.3. Теплоізоляційні матеріали нового покоління.....	24
3. ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ КОНСТРУКЦІЇ.....	27
3.1. Загальні відомості.....	27
3.2. Теплоізоляційні конструкції трубопроводів з речовинами, що мають позитивну температуру	27
3.3. Теплоізоляційні конструкції технологічного обладнання з речовинами, що мають позитивну температуру	44
3.4. Теплоізоляційні конструкції об'єктів з речовинами, що мають негативну температуру	60
4. ПРИСТРОЇ ДЛЯ КРІПЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ СТАЛЕВИХ ПОСУДИН ТА АПАРАТІВ	62
4.1. Загальні відомості.....	62
4.2. Конструкція й розміри пристроїв	62
4.3. Технічні вимоги до пристроїв	69
4.4. Розміщення приварних деталей на посудинах та апаратах.....	70
4.5. Види кріплення теплової ізоляції	75
5. РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ	79
5.1. Загальні відомості.....	79
5.2. Умови розрахунку товщини теплоізоляційного шару	82
5.3. Методики розрахунку товщини теплоізоляційного шару	82
5.4. Приклади розрахунку товщини теплоізоляційного шару	93
6. ДЕЯКІ ІНЖЕНЕРНІ ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ.....	109
6.1. Критичний діаметр циліндричного заізолюваного об'єкта.....	109
6.2. Вплив розташування шарів теплової ізоляції на величину теплового потоку крізь теплозаізолювану стінку	112
6.3. Визначення кількості теплоти, закумульованої в тепловій ізоляції заізолюваного об'єкта.....	114
6.4. Визначення теплових втрат в оточуюче середовище обладнанням і трубопроводами. Визначення температур у тепловій ізоляції.....	116
7. ВИКОНАННЯ РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ	121
7.1. Загальні положення	121
7.2. Загальні дані за робочими креслениками.....	123
7.3. Кресленики теплової ізоляції	123
7.4. Техномонтажна відомість.....	127
7.5. Специфікація обладнання.....	128

8. МОНТАЖ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ І РЕМОНТ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ	130
8.1. Монтаж теплової ізоляції.....	130
8.2. Експлуатація й ремонт теплової ізоляції.....	136
8.3. Техніка безпеки під час проведення теплоізоляційних робіт	137
Запитання для самоконтролю.....	140
ДОДАТОК А. Характеристики теплоізоляційних матеріалів і виробів	141
ДОДАТОК Б. Норми цільності теплового потоку крізь заізольовану поверхню обладнання і трубопроводів з позитивними температурами	150
ДОДАТОК В. Норми цільності теплового потоку крізь заізольовану поверхню обладнання і трубопроводів з негативними температурами	154
ДОДАТОК Г. Норми цільності теплового потоку крізь заізольовану поверхню паропроводів	156
ДОДАТОК Д. Норми цільності теплового потоку крізь заізольовану поверхню трубопроводів двотрубних водяних теплових мереж у разі прокладки в непрохідних каналах.....	157
ДОДАТОК Е. Норми цільності теплового потоку крізь заізольовану поверхню трубопроводів для двотрубною підземної безканальної прокладки водяних теплових мереж.....	158
ДОДАТОК Ж. Розрахункові коефіцієнти тепловіддачі	159
ДОДАТОК И. Значення функції $x \ln(x)$	160
ДОДАТОК К. Розміри еліптичних відбортаних днищ із внутрішніми базовими діаметрами (витяг з ГОСТ 6533–78)	161
ДОДАТОК Л. Приклад проектування теплоізоляції кожухотрубного теплообмінника, розташованого на відкритому повітрі	162
ДОДАТОК М. Приклад проектування теплоізоляції кожухотрубного теплообмінника, розташованого в приміщенні.....	173
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНИХ ДОКУМЕНТІВ	183
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	185

Навчальне видання

Мікульонок Ігор Олегович

**Проектування теплової ізоляції
обладнання і трубопроводів**

Підручник

В авторській редакції



Мікульонюк Ігор Олегович

Народився 29 січня 1963 року в селищі Цементний Брянської області (Росія) у родині військовослужбовця. Після закінчення із золотою медаллю середньої школи 1980 року вступив до Київського політехнічного інституту на факультет хімічного машинобудування, який закінчив з відзнакою 1986 року, здобувши кваліфікацію інженера-механіка. З 1983 року працював на кафедрі машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв на посадах лаборанта, інженера, молодшого наукового співробітника, асистента, доцента, професора, а з 2011 року працює на кафедрі хімічного, полімерного та силікатного машинобудування на посаді професора. У 1995 році здобув другу вищу освіту (патентознавець-маркетолог).

Доктор технічних наук (2010), професор (2011), академік Академії наук вищої освіти України (2011), заслужений винахідник України (2009).

Автор і співавтор сорока підручників, навчальних посібників, словників і монографій, біля чотирьохсот наукових і науково-популярних статей, а також понад шестисот винаходів і корисних моделей.

Наукові інтереси: процеси та обладнання хімічної технології та перероблення термопластичних матеріалів, історія науки, техніки й технології.

Хобі: фалеристика, велосипед, ремонт механічних годинників, фотографія.